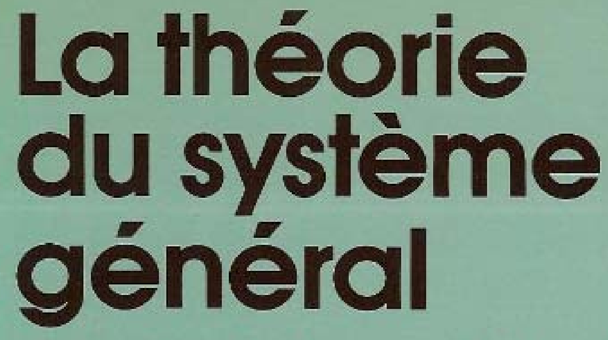


La théorie du système général

Théorie de la modélisation

JEAN-LOUIS LE MOIGNE

COLLECTION
LES CLASSIQUES DU RESEAU
INTELLIGENCE DE LA COMPLEXITE
www.mcxapc.org

Collection Les CLASSIQUES DU RESEAU INTELLIGENCE DE LA COMPLEXITE

www.mcxapc.org - *mcxapc@mcxapc.org*

La collection '**Les Classiques du Réseau Intelligence de la Complexité'** (IC-MCX-APC) publie, sous forme digitalisée, des ouvrages devenus des 'classiques' du domaine du Réseau, désormais épuisés dans leur présentation éditoriale imprimée et dont les éditeurs initiaux ne peuvent ou ne veulent plus assurer la réédition.

Les facilités techniques de l'édition électronique permettent en effet au Réseau IC de faciliter l'accès aisé et librement ouvert à ces ouvrages désormais quasi introuvables.

Sur le site du Réseau IC, ces ouvrages sont et seront, avec l'accord de leurs auteurs, libres de tous droits de consultation et duplication 'pour l'usage privé du copiste', ceci sous la réserve usuelle de la mention explicite de la référence à la présente édition électronique (en particulier dans le cas de citations brèves dans d'autres publications).

Toute personne ou institution souhaitant reproduire ou traduire puis dupliquer tout ou partie de ces ouvrages à fin de diffusion publique ou commerciale, devra auparavant obtenir l'accord de l'auteur ou de ses ayants droit. Le Secrétariat du Réseau (géré par l'association AE-MCX) transmettra les demandes après s'être assuré de l'identité du correspondant.

Les ouvrages de la Collection IC sont 'déposés' et archivés dans la Bibliothèque du RIC.

***

Si le présent ouvrage '*La théorie du système général, théorie de la modélisation*' (1977-1994) est le premier à être explicitement attaché à la collection des ***Classiques du RIC*** (en 2006), il faut souligner que deux autres ouvrages y étaient déjà enregistrés… par anticipation :

- en 2000, '*Le concept de Système Politique*' de J.L. Vullierme, 'archivé' pour et par le REDS sur son site à la MSH-Paris : Nous la remercions ici à nouveau pour son concours nous permettant d'installer le lien ad hoc sur la bibliothèque du RIC ;

- en 2004, '*Le discours de la méthode des études de notre temps*' de GB. Vico (1708) présenté et traduit par Alain Pons.

la théorie
du système général
théorie de la modélisation

Publication de l'édition 1994. Nouvelle présentation, 2006

Jean-Louis LE MOIGNE
Professeur émérite
Université Paul Cézanne - Aix Marseille
Ingénieur E. C. P.

Collection ***Les CLASSIQUES***
DU RESEAU INTELLIGENCE DE LA COMPLEXITE
mcxapc@mcxapc.org

PROPOS LIMINAIRE
POUR CETTE NOUVELLE ÉDITION

La réédition de ce livre sous le format dit 'e-book' dans la Collection des CLASSIQUES DU RÉSEAU INTELLIGENCE DE LA COMPLEXITÉ est faite en 2006 à partir de la dernière version publiée sous format imprimé en 1994 (la 'quatrième édition', la première ayant été publiée en 1977) et épuisée depuis 1999.

L'éditeur initial de cet ouvrage ne souhaitant pas procéder à une nouvelle réédition (que je lui proposais d'actualiser) et m'en ayant 'rendu les droits', il devenait légitime de le mettre à la disposition de la Collection des 'Classiques du RIC'. On peut ainsi faciliter un accès public, ouvert et relativement aisé à ce traité qui est en effet devenu en trente ans un 'classique de la systémique', ou mieux, de 'la modélisation systémique'. (Le sous-titre '*théorie de la modélisation*' fut délibéré dès l'origine, en 1976-77).

La légitime règle du jeu de la collection des 'Classiques du RIC' est de restituer les ouvrages dans leur forme initiale, sans dissimuler aux lecteurs que ces textes furent écrits et publiés dans des contextes différents de ceux qu'ils pourront mieux connaître dans les prochaines années. Il est alors loyal de ne pas modifier subrepticement tel ou tel paragraphe que l'auteur n'écrirait peut-être pas tout à fait dans les mêmes termes 15 ou 30 ans plus tard. C'est donc une copie digitalisée 'à l'identique' de la quatrième édition (1994), pratiquement sans modification, dont disposeront les lecteurs. On a seulement modifié légèrement le texte du bref *avant-propos* de la première édition qui, rédigé en 1977, avait été repris intégralement dans la quatrième édition. La *postface* rédigée pour cette dernière édition de 1994 a en revanche été maintenue. Elle visait, malaisément parfois, à actualiser l'avant-propos de 1977 en mentionnant les références aux publications des années 1980-1990 qui avaient été introduites dans les éditions successives de l'ouvrage ; disposition qui a permis en particulier de sauvegarder l'index important (environ 1200 entrées) que l'on avait établi.

Ce bref propos liminaire, rédigé en 2006 et publié en complément introductif (de façon à ne pas modifier la pagination pour l'index), fait de cette nouvelle publication de la 'quatrième édition' une 'cinquième édition' très légèrement augmentée. Elle me donne la possibilité de souligner quelques arguments qui, à l'expérience de multiples échanges au fil des trente dernières années, m'ont paru devoir être utilement soulignés.

***

- **Science des systèmes, science de la complexité, science d'ingénierie ?** Depuis l'émergence simultanée en 1947-48 des sciences de la communication et de la commande (N. Wiener, C. Shannon), de la computation (A. Turing), des organisations sociales (H.A. Simon) et de la complexité (W. Weaver), nos institutions scientifiques sont toujours embarrassées pour désigner les nombreuses 'nouvelles sciences' formées à partir de ces 'cellules souches', disciplines construites sur l'examen de projets conceptuels et non plus sur l'étude d'objets naturels.

En les tenant pour des disciplines scientifiques comme les autres (avec leurs facultés, leurs traités et leurs diplômes spécifiques), on pouvait se laisser bercer par l'illusion qu'elles pouvaient se soumettre aux mêmes procédures d'évaluation dites 'scientifiquement objectives', alors que cela s'avère manifestement quasi impossible puisqu'un projet, artefact formé par un humain dans un contexte donné, ne peut avoir le statut 'objectif' d'un objet naturel a priori indépendant de l'humain qui l'observe. On pouvait dissimuler pragmatiquement la difficulté en regroupant les unes et les autres dans la catégorie des disciplines scientifiques, mais on ne disposait pas d'instance d'arbitrage stable pour désigner d'un nom universellement accepté chacune de ces nouvelles disciplines. J'ai pour ma part buté souvent sur cette difficulté dans bien des échanges tant académiques que professionnels. Si j'ai été initialement à l'aise avec l'expression 'La science des systèmes' qui se formait à partir de 1970 en englobant la cybernétique, j'ai dû assez vite reconnaître qu'il fallait parfois parler plutôt des sciences des systèmes au pluriel, puis des sciences de la complexité, des sciences de l'artificiel, des sciences d'ingénierie, des sciences de conception, des sciences des systèmes complexes… Chaque variante introduisant des éclairages a priori pertinents et s'avérant pragmatiquement adéquate pour contourner telle ou telle résistance académique.

Ambiguïté somme toute tolérable en principe, tant que chacun ne cherche pas à monopoliser un label pour établir sa propre niche académique en la protégeant des intrus (ce que tentent parfois de faire, par exemple, les chercheurs en mathématiques de la dynamique des systèmes non linéaires, en baptisant 'science des systèmes' leur pré carré tenu par eux pour 'fondamental').

Ambiguïté féconde puisqu'elle permit d'institutionnaliser et de légitimer l'enseignement de connaissances 'inter' puis 'trans' disciplinaires, dès lors que cette 'cellule souche' proposait une sorte de langage commun, celui de la systémique. Langage qui pouvait être emprunté par chacune sans empiéter sur le territoire d'une autre. Ceci, bien sûr, au prix de bien des difficultés de communications, tant la tolérance à l'ambiguïté est souvent tenue aujourd'hui pour une vertu honteuse. Mais aussi bruyante soit-elle,

une communication effective est préférable à une absence totale de communication.

Ambiguïté féconde aussi, et peut-être surtout, puisqu'elle oblige peu à peu chaque discipline, ancienne ou nouvelle, à s'interroger sur les modes d'évaluation et de légitimation des connaissances qu'elle produit et enseigne ; autrement dit, selon le mot de J. Piaget, à s'exercer à sa propre *'critique épistémologique interne'*…

- **Systémique et épistémologie.** Je fus, dès la rédaction de '*La théorie du système général, théorie de la modélisation'*, attentif à cette nécessaire probité intellectuelle requise par l'exercice : Comment légitimer culturellement et scientifiquement la théorie que l'on veut établir et enseigner ? Je comprenais aisément que les références académiques institutionnelles affichées à l'époque, celle des divers cartésiano-positivismes, ne permettaient pas de garantir le sérieux scientifique du propos.

Je comprenais aussi que je pouvais 'faire comme si', en m'abritant sous des arguments d'autorité incontestée. N. Wiener, qui avait vu la difficulté dès 1943, s'était ainsi abrité sous sa réputation de mathématicien alors illustre lorsque les épistémologues positivistes lui cherchaient querelle. A défaut d'un abri, je pouvais chercher des arguments déjà bien réfléchis par des chercheurs ayant déjà témoigné de leur exigence épistémique. Quête qui me conduisit vite à explorer les œuvres épistémiques (alors tenues pour marginales ou déviantes) des trois chercheurs que je regroupais, pour faire image, sous le label du '*triangle d'or PSM'*, pour J. Piaget, H.A. Simon et E. Morin que j'eus la chance de rencontrer au fil des années 70.

Ces explorations m'amenèrent à me lancer peu à peu dans une tentative d'explicitation et de reformulation du paradigme des épistémologies constructivistes, qui prit la forme d'un gros article publié en 1979 et intitulé précisément *'Systémique et épistémologie'*. Le terreau dans lequel pouvait se former la critique épistémique interne de *'La théorie du système général, théorie de la modélisation'* (ou TSG-TM) prenait consistance : La reformulation contemporaine des épistémologies constructivistes pouvait alors se développer légitimement, certes sans s'enfermer dans une chapelle systémique, mais en contribuant dans l'immédiat au déploiement et à l'opérationnalisation de la modélisation systémique.

- **De l'analyse (ou de l'approche) des systèmes à la modélisation systémique.** J'avais été, dès le début de la rédaction de la TSG-TM, incité à cet effort de critique épistémique par le malaise que je ressentais en travaillant les premiers 'classiques' publiés aux USA à partir de 1967-68 sous le titre de '*General Systems Theory'* ou *GST* (L. von Bertalanffy), ou de '*Systems Approach*' (C. Churchman), ou de '*Systems Analysis*' (J. Van Court Hare), de

'System Theory' (L. Zadeh), de *'System Dynamics'* (J. Forrester) ou de '*Management System*' (C. Schoderbeck).

D'une part, on y postulait implicitement que '*les systèmes étaient dans la nature*' ('*Systems everywhere*' assurait L. von Bertalanffy), autrement dit des objets objectivement identifiables ; d'autre part, qu'ils étaient tous intégralement réductibles, analysables '*en autant de parcelles qu'il se pourrait'*. Comment dès lors appréhender tant l'irréductible complexité que le caractère fonctionnel (ou inter-actionniste) et contextualisant du phénomène considéré ?

Je comprenais que l'enjeu était précisément de parvenir à modéliser intelligiblement des processus sans d'abord les réduire en éléments 'objectifs' présumés stables et définitivement irréductibles. Quel bénéfice pouvait-il y avoir à appeler système un ensemble fini d'éléments recensés et en interactions stables et connues ? La théorie mathématique des ensembles et, par son entremise, la modélisation cartésiano-analytique, permettaient fort bien de faire cela depuis longtemps et on n'avait nul besoin de l'appeler 'GST' pour se rassurer.

Le concept de 'Système (en) Général' avait précisément été forgé pour faciliter les appréhensions, voire les compréhensions, de processus ouverts plutôt que d'objets fermés. Nul postulat d'existence a priori (ou de rejet a priori) de systèmes dans la nature (nature des chose ou nature humaine), mais un projet d'entendement lucide : Se représenter le phénomène considéré comme et par un système en général. Ceci en tirant parti de l'experience modélisatrice accumulée depuis les rhéteurs de la Grèce antique ('*l'inventio*' rhétorique) jusqu'au '*Traité des systèmes'* de Condillac[1]. En acceptant cette formulation réfléchie et argumentée du projet d'une 'science des systèmes', on peut le légitimer et assurer son argumentation : La science des systèmes s'entend comme la science de la modélisation systémique.

Projet moins orgueilleusement ambitieux que celui d'une explication universelle de l'univers connaissable ! Mais projet pragmatiquement fort plausible, argumentable, enseignable et épistémologiquement assuré, restituant au modélisateur la responsabilité de ses choix éthiques sans les imposer comme *'très vrais et très certains'* comme le voudraient les référents épistémologiques cartésiano-positivistes usuels. Le redéploiement du paradigme des épistémologies constructivistes créait les conditions de cette légitimation du primat de la modélisation ouverte sur l'explication fermée.

Mais il fallait alors ne pas se laisser enfermer dans les contraintes a priori de la modélisation analytique qui s'était, croyait-elle, anoblie en se qualifiant exclusivement de modélisation mathématique (laquelle privilégie presque toujours la simplification

---

[1] Voir l'article *'Système'* du '*Dictionnaire d'histoire et de philosophie des sciences*', PUF, 1999, p.901

formelle, fût-ce aux dépens de l'intelligibilité fonctionnelle). En campant le concept de modélisation systémique (et son instrumentation par la '*systémographie*'), on ouvre l'éventail des ressources du modélisateur qui n'est plus tenu au seul et exclusif usage de l'analyse.

Je n'anticipais pas, j'en conviens, la subreptice pression épistémique des significations anciennes des concepts sur leur usage actuel, mais je sais maintenant que, là aussi, on ne met pas impunément *'le vin nouveau dans les vieilles outres'*. A l'insu de leurs utilisateurs, très souvent 'de bonne volonté scientifique', l'usage des concepts 'analyse de système', 'approche système, 'application de la théorie des systèmes', les a conduits presque toujours à s'exercer à une modélisation analytique qui n'avait de systémique que le nom. Ceci faute d'accoutumance à ces exercices de critique épistémique interne qui devraient être familiers à toute activité de type scientifique et technique. Il n'est pourtant pas difficile de se demander d'abord *'Qu'est-ce que cela fait, dans quoi, pour quoi, devenant quoi ?'* plutôt que de se demander d'abord *'De quoi c'est fait ?'*

Les procès de laxisme que les scientistes 'durs' font à la systémique[2] ont souvent pour origine cet effet pervers dans l'usage subreptice du mot 'analyse (ou approche) système' pour désigner la représentation téléologique d'un phénomène perçu complexe par des systèmes de symboles (discursifs et graphiques aussi bien que mathématiques ou chimiques). Usage favorisé par la trop fréquente inculture épistémique des modélisateurs et des auteurs de traités d'analyse ou de théorie des systèmes, qu'ils soient enseignants, consultants ou praticiens.

- **L'enracinement des épistémologies constructivistes dans les cultures contemporaines.** En lisant '*L'introduction à la méthode de Léonard de Vinci'* que P. Valéry écrivait en 1894, j'avais aisément pris conscience de l'intelligence réfléchie et de la puissance modélisatrice du '*disegno*' léonardien (Le '*dessin à dessein*'[3], la modélisation donc). Léonard de Vinci (mort en 1519) ne disposait pas du *Discours de la Méthode* (1637) pour entreprendre l'œuvre scientifique exceptionnelle que l'on connaît depuis l'édition de ses '*Carnets'*.

Avant que ne s'institutionnalise en Europe la convention des épistémologies cartésiano-positivistes (succédant aux conventions scholastico-théologiques), il était possible d'enrichir et de légitimer les ressources de l'entendement humain par d'autres voies. On pouvait donc désacraliser cette convention sans pour autant la sataniser. Il importe seulement de rappeler loyalement la

---

[2] On se souvient de J. Monod dans '*Le hasard et la nécessité'* (1970) : '*Une vague théorie générale des systèmes de Bertalanffy*', p.94.

[3] Voir J. Ciaravino « *Un art paradoxal. La notion de DISEGNO en Italie (XVème-XVIème siècle »), 2004 ;* http://www.mcxapc.org/cahier.php?a=display&ID=642

convention épistémique de référence pouvant légitimer ou non, dans le contexte, les connaissances (produits ou processus) formées et enseignées.

Une formule de P. Valéry éclaire ici cette réflexion à laquelle m'avait conduit la restauration de la modélisation systémique dans nos cultures : *« On a toujours cherché des explications quand c'était des représentations qu'on pouvait seulement essayer d'inventer*[4] *».* C'est en me posant la question des 'comment' de la modélisation des phénomènes perçus complexes avant que la science ne dispose du discours cartésien définissant 'la modélisation analytique' que je m'intéressais alors aux étonnants '*Carnets'* de Léonard (progressivement redécouverts, publiés et traduits depuis 200 ans).

Alors qu'au début des années quatre-vingts, je progressais dans mes lectures des *Carnets* de Léonard de Vinci et des *Cahiers* de Paul Valéry, je découvris la traduction française (par A. Pons en 1981) du '*Discours sur la méthode des études de notre temps*[5]'de GB. Vico, publié en 1708 : Comment avions-nous pu ignorer si longtemps cette discussion critique très soigneusement argumentée du discours cartésien ? Nous disposions d'un 'autre Discours pour bien conduire sa raison', présenté de façon pédagogique (initialement aux étudiants de l'Université de Naples), discours alternatif formé dans le même creuset culturel que celui du discours cartésien, celui des cultures gréco-latines auxquelles on accédait en Europe au XVIIème siècle. Mais au lieu de restreindre l'usage de la raison au seul usage de la Syllogistique parfaite, comme le voulaient les quatre préceptes du Discours Cartésien, le Discours Vicéen en appelait plus aux Topiques et à la Rhétorique

Un des exégètes récents de GB. Vico, D. Luglio (2003), caractérise heureusement la méthode des études selon Vico en l'appelant *'la méthode topico-critique'*, alternative bien construite à la cartésienne '*méthode analytico-syllogistique'* : Alors que cette dernière privilégie presque exclusivement l'analyse, cette faculté de l'esprit humain qui est de cerner pour diviser et séparer, la première privilégie 'cette étrange faculté de l'esprit qui est de discerner pour relier et conjoindre' que Cicéron appelait *l'Ingenium* (ingegno en italien, ingenio en espagnol), mot qu'il faut franciser puisque la langue française n'avait pas formé d'équivalent.

Ainsi *'l'Introduction à la Méthode*' de P. Valéry, puis ses '*Cahiers*' (1894-1944), nous conduisant à explorer le *'Disegno* Léonardien' et *'l'Ingegno* Vicéen', nous permettent aujourd'hui de reconnaître dans nos cultures de solides enracinements pour entendre la modélisation systémique ('*La Poïétique'* disait P. Valéry) et pour

---

4 P. Valéry, *Cahiers*, 1933, p. 837.

5 L'édition de cette traduction-présentation, épuisée depuis longtemps, a pu être reprise, grâce au concours d'A. Pons, dans la collection des '*Classiques du RIC*' sur le site du Réseau MCX-APC : http://www.mcxapc.org/docs/conseilscient/0511vico_pons.pdf. A. Pons a notamment publié depuis, aux éditions Fayard (2001), une exceptionnelle traduction du 'grand œuvre' de GB. Vico, '*La Science Nouvelle*' (1744).

nous y exercer. Ce lien (et ce liant) a priori insolite (et qu'ignorent encore bien des traités d'épistémologie et de méthodologie) entre Vinci, Vico et Valéry (*'les Trois V. du Constructivisme*[6]') peut nous servir de repère familier lorsque nous craignons de succomber aux sirènes des derniers gadgets méthodologiques à la mode (épistémologiquement peu ou mal argumentés), tant en analyse de système (et autres systémologies) qu'en informatique.

Certes, il y a bien d'autres racines d'où montent les sèves de nos cultures épistémiques. J'ai mentionné succinctement 'les trois V' à seule fin de témoigner de cette diversité, et parce qu'elles ont plus particulièrement irrigué mes propres réflexions. De Francis Bacon, baron de Verulam (1626), à N. Hanson ('*Patterns of Discovery*', 1958) ou Y. Barel ('*Le Paradoxe et le Système*', 1979), tant d'expériences se sont transformées pour nous en science avec conscience.

- **La méthodologie appelle et est appelée par l'épistémologie, qui appelle et est appelée par l'éthique, qui…** Si l'on avait interrogé les fichiers des grandes bibliothèques scientifiques internationales sur le thème des méthodes d'études des systèmes complexes vers 1975, je présume que l'on aurait recensé un petit millier d'entrées bibliographiques. Trente ans plus tard, un appel sur le Web – via un moteur de recherche – nous propose plus de 350 millions d'entrées dont plusieurs centaines de centres de recherches universitaires et presque autant de revues spécialisées[7]. Foisonnement fort significatif et au demeurant encourageant quant à la capacité d'adaptation d'institutions souvent tenues pour conservatrices. Si on limite l'examen à ces 'notables', on est certes impressionné par cette vitalité, mais on s'interroge vite : la plupart des études se présentent sous la forme de créations et d'applications de 'méthodes de résolution de problèmes' présumés déjà posés ou susceptibles de se poser. Méthodes de plus en plus informatisées ou informatisables qui laissent souvent encore[8] à la charge des 'utilisateurs' la tâche de formulation de leur problème dans des termes compatibles avec le langage informatique dans lequel les méthodes peuvent s'appliquer.

Souvent décrites en termes mathématiques et algorithmiques, (dynamique des systèmes non linéaires, etc.), ces méthodes se diversifient de mille façons, en s'aidant des ressources de la simulation informatique (réseaux neuronaux, etc.) ou des 'raisonnements qualitatifs' ('*qualitative reasoning*', '*case based reasoning*', etc.). Il est

---

[6] '*Les épistémologies constructivistes*', PUF, 'Que-sais-je ?' n°2969, p.53

[7] En langue française, le score reste honorable, mais descend à 16 millions.

[8] Souvent mais pas toujours, comme en témoignent les études de M. Roux-Rouquié et al. et de J. Tisseau et al. sur les formalismes de métamodélisation et de virtualisation informatique, publiées sur les pages de l'Atelier 'Modélisation Systémique des Fonctions Biologiques' du site MCX-APC :
http://www.mcxapc.org/atelier.php?a=display&ID=30#documents

manifeste qu'en se développant, elles suscitent de nouvelles explorations, de nouveaux questionnements, et suggèrent des renouvellements progressifs de leur propre problématique.

Mais dans la plupart des cas, on est surpris par la légèreté de la critique épistémique interne pouvant légitimer le bon usage de ces méthodes. Et lorsqu'on cherche à identifier ces bases conceptuelles, on rencontre sans surprise celles que nous livrent fort bien les mathématiques ensemblistes et probabilistes que l'on peut aujourd'hui appeler classiques. Le concept de système complexe est ici un substitut élégant pour dire 'très grand système hyper compliqué, identifiable et dénombrable'. Mais le procédé n'est-il pas trompeur et, d'une certaine façon, dissuasif ?

La parabole de l'ivrogne cherchant la nuit sa clé sous le réverbère, moins par conviction de l'avoir perdue là que parce que c'est le seul endroit où il fait clair, permet de souligner l'enjeu : On développe des méthodologies de résolution peu ou pas contextualisées, sans s'attacher à expliciter les fins que ces méthodes sont censées servir. Et on oublie souvent de se doter de la capacité critique pouvant orienter une interprétation intelligente et téléologique de leur utilisation.

Dans le même temps, on ne consacre que peu ou pas d'effort aux développements de méthodes critiques de 'formulation de problèmes'. Ceci parce que l'on craint (à juste titre) de ne disposer pour ce faire que de méthodes heuristiques, tâtonnantes et formellement peu 'élégantes' pour 'traiter' ces problèmes de formulation de problèmes dont l'énoncé même évoluera au fil de la recherche. On sait que le développement de telles méthodes fut rarement gratifiant au regard des académies.

Or ce sont précisément ces méthodes de modélisation (et de méta-modélisation) qu'il importe aujourd'hui de développer à nouveau lorsqu'on veut aborder l'examen de systèmes complexes, quels que soient les domaines considérés. Cette prise de conscience est sans doute encore trop lente dans nos institutions d'enseignement, mais elle semble s'accélérer depuis quelques années, assure-t-on, sous la pression des 'sociétés civiles' de plus en plus attentives à leurs responsabilités dans les domaines de leurs politiques scientifiques. On citera ici quelques lignes d'une sorte de 'manifeste' publié par le CNRS Français en 2002 sous le titre '*Construire une politique scientifique*[9] :

---

[9] Extraits du « Projet d'établissement du CNRS - Février 2002 ». Ce document officiel a été publié sous ce titre par le CNRS français. Il est public et aisément disponible, in extenso sur le site du CNRS/Réflexions stratégiques : http://www.cnrs.fr/Strategie/DocPDF/projetetab.pdf. Ces quelques lignes sont extraites de l'introduction de ce dossier. On les retrouve, introduites par le Président du CNRS, Gérard Mégie, dans un ouvrage collectif dirigé par François Kourilsky, intitulé '*Un nouvel esprit scientifique, Ingénierie de l'interdisciplinarité*', publié en 2003 dans la collection Ingenium, Ed. L'Harmattan.

'… Il faut développer de nouveaux instruments de pensée, permettant de saisir des phénomènes de rétroaction, des logiques récursives, des situations d'autonomie relative. Il s'agit là d'un véritable défi pour la connaissance, aussi bien sur le plan empirique que sur le plan théorique. Dans le domaine des sciences mathématiques, physiques, chimiques ou biologiques, … [cela] passe précisément par un changement conceptuel du niveau de description pour révéler l'émergence de nouvelles propriétés. En sciences humaines et sociales, la notion de complexité devient opératoire si elle permet de sortir du mythe positiviste selon lequel « l'explication » d'un phénomène impose d'en traiter en « éliminant le contexte ».

S'attacher à la complexité, c'est introduire une certaine manière de traiter le réel et définir un rapport particulier à l'objet, rapport qui vaut dans chaque domaine de la science, de la cosmologie à la biologie des molécules, de l'informatique à la sociologie.

C'est reconnaître que la modélisation se construit comme un point de vue pris sur le réel, à partir duquel un travail de mise en ordre, partiel et continuellement remaniable, peut être mis en œuvre. Dans cette perspective, l'exploration de la complexité se présente comme le projet de maintenir ouverte en permanence, dans le travail d'explication scientifique lui-même, la reconnaissance de la dimension de l'imprédictibilité. …'

Le 'Projet stratégique 2002 du CNRS' concluait cette réflexion constructive sur l'attention à la légitimation épistémologique de toute recherche scientifique par le rappel de '*l'impératif de renforcer systématiquement … une pratique collective de l'autoréflexivité scientifique. Celle-ci ne se résume pas à la réflexion épistémologique que requiert, en tout état de cause, l'activité de recherche'*.

Proposition qui invite 'les sociétés civiles' à s'exercer à une réflexion éthique sur les connaissances scientifiques, au lieu d'abandonner aux seuls scientifiques la responsabilité d'une réflexion de la science sur l'éthique[10]. C'est une réflexion sur les enjeux éthiques des méthodologies scientifiques enseignables que nous devons aujourd'hui contribuer à développer, exercice qui appelle une permanente capacité critique épistémologique.

Développer de nouveaux instruments de pensée,… et reconnaître que la modélisation se construit comme un point de vue pris sur le réel, point de vue sur le réel et non plus description objective et syllogistiquement analysable du réel ! De telles attitudes appellent l'intelligence du lien qui associe en permanence méthodologie, épistémologie et éthique, sans jamais les dissocier comme la science positive nous avait accoutumés à le faire : Aux scientifiques, la méthodologie ; aux philosophes, l'épistémologie ; et l'éthique aux 'comités d'éthique' !

---

[10] Comme semble le revendiquer J.P. Changeux dans un article intitulé '*Ne pas exclure la science d'une réflexion sur la morale*' (Le Monde, 2 février 2005, p. 23), formule à laquelle il faudrait ajouter dialogiquement : '*Et ne pas exclure la morale d'une réflexion sur la science*'.

Une des contributions les plus précieuses des développements contemporains à la restauration de la modélisation systémique est, je crois, de nous montrer fort pragmatiquement que l'on peut développer des méthodologies de modélisation pertinentes épistémologiquement légitimées et explicitant leurs enjeux éthiques sous-jacents. A '*l'heuristique mimétique de la peur*[11]' qui fonde l'éthique de la responsabilité individuelle, nous pouvons substituer '*l'heuristique de l'intelligence poïétique*' qui fonde l'éthique de la responsabilité solidarisante.

- **Modéliser et Raisonner en assumant les irréversibilités et récursivités des systèmes complexes.** Si la modélisation a été pendant deux siècles le parent pauvre de la production et de l'enseignement des connaissances scientifiques, ce fut sans doute parce qu'on la réduisait à la seule modélisation analytique que l'on tenait pour simple ('*Yaka diviser en autant de parcelles qu'il se pourra*') et aussi indigne d'un statut scientifique que difficile à évaluer objectivement : La même copie d'examen était tour à tour qualifiée de bonne ou de mauvaise analyse, selon les correcteurs ! Alors que le traitement rationnel du modèle analytiquement formé était considéré comme une activité scientifique noble (au point que 'l'Analyse' fut longtemps considérée comme la discipline reine des mathématiques).

Lorsque H.A. Simon écrivit 'Modéliser est ni plus ni moins logique que raisonner' ('*Modeling is neither more nor less than Reasoning*[12]'), il parut dire à voix haute que 'lé roi était nu', tant le propos avait été comme occulté dans la culture scientifique du siècle précédent. Il importait manifestement de le rappeler comme il importait de rappeler, en cette même année 1989, que '*la modélisation est le principal outil dont nous disposons pour étudier le comportement des grands systèmes complexes*' : H.A. Simon rappelait alors en conclusion que l'important était d'expliciter les 'points de vue' que retenait le modélisateur, et de ne pas hésiter à modéliser les '*aspects ainsi retenus en s'aidant de symboles, de mots, de schémas et de dessins quand cela s'avérait plus adéquat que par des formules numériques*[13]'.

Interprétation de la modélisation fondée sur l'expérience des études des comportements des systèmes complexes dont les principales caractéristiques avaient été synthétisées par E. Morin dès les premiers tomes de '*La Méthode*' (1977-1980) et la première édition de '*Science avec conscience*' (1981) : Irréversibilité et Récursivité. Les deux caractéristiques que précisément la

---

[11] On reconnaît le concept repris par H. Jonas dans 'Le Principe Responsabilité' (1979, traduction 1990).

[12] H.A. Simon & C. Kaplan, in '*Foundations of cognitive science*', MIT Press, 1989, p. 19.

[13] H. Simon, '*Prediction and prescription in systems modeling*', ORSA, 1990, 38, 7-14 Repris dans '*Models of Bounded Rationality-III*', 1997, MIT Press, p. 115-128.

modélisation analytique ne permettait pas d'appréhender sans simplifications souvent abusives.

Elle ignore en particulier la prise en compte des processus récursifs en jeu dans les interactions 'moyens-fins-moyens-…' que les modélisateurs rencontrent si souvent dans leurs activités. En revanche, souligne d'emblée M. Mugur Schachter, *'la pensée "systémique" met en évidence l'importance décisive, pour tout être ainsi que pour ces méta-êtres que sont les organisations sociales, des modélisations pragmatiques… Les buts…, qu'on place dans le futur mais qui façonnent les actions présentes,… rétroagissent sur l'action au fur et à mesure que celle-ci en rapproche ou en éloigne, cependant que l'action, en se développant, modifie les buts…*[14]'

- **La Téléologie science critique**. Ces lignes mettent bien en valeur le caractère pragmatique autant qu'épistémo-critique de la modélisation systémique. Elles incitent aussi à souligner, plus que je ne peux le faire ici, les développements qu'elle demande à '*la Téléologie, science critique*', s'entendant comme l'étude des processus cognitifs et computationnels de 'finalisation' (la transformation permanente des 'points de vue' du modélisateur) par rapport auxquels s'élaborent et s'interprètent les comportements des systèmes.

Conception Kantienne de la téléologie moins simpliste que celle d'une science proposant de décider une fois pour toutes de la (ou des) fin(s) (ou du but ou du '*steady state*' final) d'un système, déterminée de façon apparemment exogène par une religion ou par un mythe (tel que le mythe positiviste du progrès). Certes, '*la raison par elle-même est instrumentale'* et ne peut ni calculer le 'bon but final' ni même arbitrer les conflits entre des buts finaux. Mais elle peut modéliser les processus cognitifs et affectifs par lesquels se sont formés, pas à pas, les 'buts intermédiaires' auxquels se réfère l'élaboration raisonnée du prochain pas[15].

Cette discussion nous conduira à l'étude des raisonnements que l'on pourrait qualifier de récursifs et à ré-élargir le champ de nos conceptions classiques (rationalité linéaire déductive) du 'bon usage de la rationalité' : les pragmatistes américains avaient dégagé le '*principe d'action intelligente*' (ou de 'raison délibérante') que l'on doit tenir pour au moins aussi rigoureux (pas plus mais pas moins) que '*le principe de raison suffisante*' (et son dérivé, le principe de moindre action) pour expliciter cette '*ouverture de l'éventail de la rationalité*'. Si '*nous ne raisonnons que sur des modèles*', ne devons-nous

---

[14] M. Mugur-Schächter '*Les Leçons de la mécanique quantique : vers une épistémologie formalisée' in* Revue *Le Débat*, n°94, mars-avril, 1997, Texte disponible à http://www.mcxapc.org/docs/conseilscient/mms1.pdf

[15] Le chapitre '*Rationality and Teleology*' de '*Reason in Human Affairs*' de H. Simon (1983) et surtout la troisième partie de *l'Ethique* d'Edgar Morin (*La Méthode T 6, 2004*), intitulée '*Auto-Ethique*' (qui développe un chapitre de '*Mes démons*', 1994), sont ici des 'sources vives' précieuses, ne réduisant pas la téléologie à la morale.

pas nous attacher à identifier aussi les raisonnements par lesquels nous élaborons ces modèles ?

Ainsi s'enrichit l'ancestrale sagesse de 'sens commun' qui distingue sans disjoindre les capacités humaines à modéliser et à raisonner récursivement : Le raisonnement transforme de façon téléologico-critique le modèle sur lequel il s'exerce, et le modèle ainsi transformé transforme de façon téléologico-critique le raisonnement qui l'a formé.

Que la modélisation systémique appelle sans honte les raisonnements heuristiques sans se contraindre exclusivement à des formalismes algorithmiques, cela semblera-t-il manquer de sens commun ? D'autant plus que bien des algorithmes ingénieusement mis en œuvre, constitueront souvent des réservoirs d'heuristiques ingénieuses dés lors qu'elles s'assumeront comme telles, en particulier dans leurs usages en simulations prospectives plutôt qu'en explications prédictives.

Convenons que, dans l'immédiat, nous sommes plus en quête encore d'heuristiques de modélisation contextualisante, épistémiquement critiquées, que de traitements algorithmiques de modèles déjà faits. C'est cette conviction qui m'incite à 'remettre en service public' cette édition de '*La Théorie du Système Général, théorie de la Modélisation*' (que complémente toujours l'édition de '*La Modélisation des systèmes complexes*', régulièrement réimprimée[16]).

- '**Dans une fureur sacrée de *comprendre pour faire* et de *faire pour comprendre* qui passe toute philosophie'**[17]. Cette formule provocante exprime de façon si imagée la passion qui depuis cinquante ans me fait courir, que je m'autorise à la reprendre ici en guise de point d'orgue à ce propos liminaire : Paul Valéry l'écrivait en 1939 pour nous faire partager le sentiment que lui valaient ses lectures sans cesse renouvelées des *Carnets de Léonard de Vinci*. Cette ambition de ne jamais séparer le désir de comprendre et le plaisir de faire qui animent, je crois, toute vie humaine, je la vis si intensément depuis un demi-siècle qu'elle fut en quelque sorte l'inspiratrice du projet de ce livre : il me fallait 'comprendre' et légitimer ce qui m'incitait à ne pas réduire systématiquement les représentations à des 'analyses' (ainsi qu'on me l'avait enseigné). Pour le 'comprendre', il me fallait 'faire' et pratiquer, dans l'action organisationnelle, ces représentations contextualisantes et intelligibles sur lesquelles je puisse raisonner pour agir.

---

[16] Editions Dunod, 1999-2003.

[17] P. Valéry in '*Vues*', (éditions La Table Ronde, 1948, p. 228), reprenant le texte d'un article de P. Valéry, publié le 13 mai 1939 et consacré à la présentation d'une réédition de '*The Literary Works of Leonardo da Vinci*' de J.P. Richter. Cet article est intitulé '*L'œuvre écrite de Léonard de Vinci*'.

C'est en découvrant la formule de Vico (1710) définissant l'ingenium *'… L'ingenium a été donné aux humains pour comprendre c'est-à-dire pour faire*[18]*'* que se forma de façon réfléchie ce lien essentiel entre l'experience de Léonard de Vinci (1519) et la méditation de Paul Valéry sur cette expérience (1894-1939). Ce que je ressentais et n'osais alors affirmer, puisqu'en effet cela '*passait toute philosophie*' (ou du moins les philosophies qu'on m'enseignait dans mes jeunes années), me devenait d'autant plus légitime qu'il appartenait à ce '*sens commun propre au genre humain',* se formant dans l'aventure *de l'humanité formant des sociétés.*

Les œuvres des 'trois V du constructivisme' (Vinci, Vico, Valéry) *passant* - sans passer outre - *toute philosophie*, ne nous invitent-elles pas à relier sans cesse 'pragmatiké' (Faire) et 'épistémè' (Comprendre) pour mieux nous inciter à exercer notre *intelligence de la complexité*, autrement dit prendre conscience des enjeux éthiques de nos actes ?

Aix en Provence, Septembre 2006

---

[18] G Vico '*De l'antique sagesse de l'Italie*', (1710) Traduction de J Michelet (1835), et présentation de B Pinchard, Ed. GF-Flammarion, 1993, p.136.

LA THEORIE DU SYSTEME GENERAL THEORIE DE LA MODELISATION

Remerciements

pour les éditions successives

La règle du jeu de la Collection des 'Classiques du Réseau Intelligence de la Complexité' est de reproduire aussi à l'identique que possible la dernière édition imprimée devenant ainsi un 'Classique'. Il importait en outre ici de conserver la pagination initiale de l'ouvrage pour sauvegarder l'index établi initialement.

J'ai donc pris le parti de reproduire en préliminaire les remerciements rédigés pour la première édition (1977) et pour les trois éditions suivantes (1983, 1990, 1994). Chacune d'elle est bien sûr bien incomplète à mes yeux. Cette incomplétude pèse plus encore sur cette 'cinquième édition' qui n'est nouvelles que par les quelques pages liminaires qu'on vient de lire. : Entre 1994 et 2006, si nombreux furent les échanges et les lectures qui ont enrichi ma réflexion. Nombre d'entre ces rencontres seront aisées à reconnaître : Elles ont suscité bien des contributions directes et indirectes animant la veille collective qui s'exprime sur le site du Réseau Intelligence de la Complexité, MCX-APC. Le lecteur pensif les identifiera au gré de ses navigations dans ses pages.

Remerciements pour la première édition

Le grand Descartes, on le relira dans ce livre, recommandait expressément à qui voulait bien conduire sa raison, de « faire partout des dénombrements si entiers et des revues si générales qu'il fusse assuré de ne rien omettre ». À l'heure où l'on voudrait, avec probité et gratitude, dire à chacun ce que la raison nous inspire, je découvre à nouveau l'extrême vanité du quatrième précepte. La liste de ceux qui peuvent et doivent revendiquer quelque paternité de ce livre est inachevable, chaque nom en suscitant d'autres dans la joie toujours renouvelée de l'échange dans la différence. Acceptons alors l'artifice des agrégats pour aider le lecteur à reconnaître au détour des pages la. famille intellectuelle, voire l'institution contingente qui a contribué au dessin de ce livre.

À commencer, bien sûr, par celui des quelque cinq cents auteurs que j'ai sollicités au long de bien des veilles, amorçant souvent une amitié intérieure qu'il leur faudra ignorer. La bibliographie me donne le loisir de citer nommément quelque deux cents d'entre eux. Elle ne suffit pas à m'acquitter de ma dette de gratitude. La cohorte des chercheurs et des enseignants, tant français qu'étrangers, qui ont su, souvent avec patience et amitié, m'encourager et me provoquer sera hélas plus anonyme. Il me faut me borner à évoquer de bien stimulantes rencontres dans l'Université, et plus particulièrement au sein d'un petit groupe devenu le « Groupe de Recherche sur l'Adaptation, la Systémique et la Complexité Économique » des Universités d'Aix Marseille, associé au CNRS, auprès de plusieurs équipes du CNRS, au sein diverses institutions et sociétés scientifiques françaises et internationales, aussi bien que dans les organisations, entreprises et associations où j'ai la chance de rencontrer bien des hommes d'action qui deviennent des amis. La part d'amis et de collègues étrangers rencontrés aux USA ou au Québec, à Barcelone ou à Milan, est d'autant plus importante qu'elle fut souvent très enrichissante.

Le lecteur devine-t-il assez le rôle décisif de ceux souvent nombreux qui par leur zèle exemplaire permettent à m livre de devenir un objet ? L'auteur sait le merci qu'il doit aux secrétaires et aux techniciens de l'édition et de l'impression qui ont réalisé l'objet.

Que Maguy, Jean-François, Rémy et Marie-Pierre trouvent ici le merci du cœur : ils participent si intensément à l'environnement et aux finalités de ce livre.

Mars 1977,Le Repère, Aix-en-Provence

Remerciements pour les éditions suivantes

Tant de rencontres, tant d'échanges, tant de correspondances, tant de lectures et tant de découvertes au fil de la vie de ce livre depuis 1977. Tant d'amitiés aussi, chaleureuses et critiques, enthousiastes et inquiètes, proches et lointaines, tant de rencontres, tant de conversations, tant d'échanges épistolaires si volontiers planétaires, par lesquels j'ai pu partager des moments de l 'émerveillante et exigeante aventure de la connaissance.

Puisse chacun entendre mon merci sincère sans qu'il me faille dés-entrelacer tant de fils qui tissent ce livre en permanente transformation sous le regard de ses lecteurs, qui participent souvent par le jeu de leur attention, à ses successives « éditions complétées ».

Lecteurs qui devineront peut-être ma gratitude exceptionnelle à l'égard de trois des plus grands penseurs contemporains qui eurent assez de force et de culture pour oser, ouvrant ainsi la voie de l'interdisciplinarité et des sciences de la complexité dans laquelle nous pouvons aujourd'hui progresser : Jean Piaget, Herbert A. Simon et Edgar Morin (mon « Triangle d'Or ») ;

Ces rencontres au fil des quarante dernières années forment le plexus en permanente transformation dans et par lequel « *en marchant se construit le chemin* ». Le beau vers d'A. Machado ne suggère-t-il pas l'image de ce livre devenant à vingt cinq ans un 'classique' : celle du sillage sur la mer par lequel le marin reconnaît sa progression ?

Mars 1983, mars 1990, mars 1994, mars 2004

Le Repère, Aix-en-Provence p

Septembre 2006. Que les plus exemplaires des 'lecteurs pensifs' que j'aie eu le privilège de rencontrer, André Demailly et Marie José Avenier, trouvent ici l'expression de ma joyeuse gratitude. Leur capacité d'attention, 'topico-critique', m'est aujourd'hui encore si stimulante.

SOMMAIRE

DEUXIÈME PARTIE

LE SYSTÈME GÉNÉRAL
MODÈLE DE L'OBJET ACTIF

QUATRIÈME PARTIE

LE SYSTÈME GÉNÉRAL MODÈLE DE L'OBJET EN ÉVOLUTION

AVANT-PROPOS*

Ce livre est né d'une profonde insatisfaction : Homme d'action devenu homme d'étude vers 1970, je m'étonnais de la si difficile communication entre les hommes et femme de sciences, présumés théoriciens, et les hommes et femmes d'action, présumés praticiens. '*Pas de bonnes pratiques sans bonnes théories pour les légitime*r' disaient les premiers, '*pas de bonnes théories sans bonnes pratiques pour les irriguer*' disaient les seconds. Mais les théories que la plupart des scientifiques proposaient aux praticiens postulaient un univers parfaitement réductible à un 'clair et net' pétrifié ('modèle formel', disent-ils), s'avérant ainsi souvent inapplicables. Et les recettes tenues pour satisfaisantes que les praticiens élaboraient à l'expérience en tâtonnant, s'avéraient, elles, inadéquates dés que le contexte de leur application se modifiait ; Ce qui est toujours le cas.

Fallait-il se résigner à cette « fracture culturelle » que l'on percevait dans la plupart des systèmes d'enseignement et de recherches, mais qui semblaient plus particulièrement accusée en France (Les scientifiques n'y montrant pas souvent le bon exemple, s'enfermant parfois dans un corporatisme élitiste qui semble perdurer.) ?

Pourtant en se posant la question en termes d'enseignement (« *Quelle connaissance faut-il enseigner, ici et maintenant ?* »), ce qui était la situation que j'abordais alors, ne pouvait-on identifier quelques constructions théoriques, anciennes et souvent oubliées, nouvelles et souvent méconnues, pouvant nous aider à conjoindre les deux cultures ? «*Faire pour comprendre, et comprendre pour faire*.»

Dés les premières années soixante dix, on trouvait des réponses encourageantes et parfois passionnantes à cette question qu'il fallait d'abord poser ! J'eus la chance de rencontrer (et pour moi de découvrir) les premières œuvres épistémologiques d'Herbert Simon, puis peu après, celles d'Edgar Morin, de Jean Piaget, d'Yves Barel, d'Heinz von Foerster, et de bénéficier de quelques conversations avec ces scientifiques riches d'une exceptionnelle culture et d'une expérience de recherches effectivement transdisciplinaires : Ils témoignaient, et témoignent toujours, de la possibilité et de la légitimité de la production de connaissances théoriques ou paradigmatiques enseignables, connaissances qu'irrigue une exceptionnelle attention aux processus de transformation des

* Cet avant-propos partiellement re-rédigé en 2006, reprend la plupart des arguments présentés dans 'l'avant propos' de la première édition (1977), très légèrement complété lors des ré éditions de 1984 et 1994. Il m'a semblé utile d'en rafraîchir l'écriture, pour permettre au lecteur l'ouvrant trente ans plus tard, de mettre plus aisément en perspective ce livre qui risquerait de n'être perçu en rétrospective.

expériences humaines en science avec conscience. N'était ce pas ce que je cherchais ?

Dans ces mêmes années, je découvrais aussi, par la médiation de Léonard de Vinci, les *Cahiers* de Paul Valéry (De larges extraits venaient de paraître dans l'édition Pléiade en 73-74). L'œuvre scientifique considérable de Léonard n'était-elle pas l'archétype de cette entreprise de l'intelligence humaine ? En lisant « *l'introduction à la méthode de Léonard de Vinci* » que publiait le jeune Paul Valéry en 1895, je percevais mieux ce processus : Léonard n'appliquait pas une théorie élaborée avant et ailleurs pour guider ses pratiques, il élaborait conjointement pratiques et théories en une permanente réflexion récursive, chacune irriguant l'autre à la manière d'une vis sans fin. Et, ses *Carnets* en témoignent, l'exercice s'avère fort 'normalement' praticable. Diagnostic qui, on le sait, incita, incita P. Valéry à poursuivre toute sa vie un 'exercice similaire à celui de Léonard dans ses Cahiers (« *Comment mon esprit fonctionne ?* »). Ce qui fait de ses *Cahiers* un recueil de textes épistémologiques d'une impressionnante pertinence pour éclairer la production de connaissances enseignables et donc « actionnables ».

Je lisais aussi, bien sûr, les textes alors célèbres des inventeurs du concept de système général, L ; von Bertalanffy ou K. Boulding, puis des premiers 'systémiciens' que G.Klir rassemblait autour de *l'International Journal of General Systems*. Mais ces lectures me valaient un sentiment de malaise et d'incomplétude que je parvenais difficilement à expliciter jusqu'à ce que je lise, dans le Tome 1 de *La Méthode* d'Edgar Morin, ce diagnostic : « *Au cours des années cinquante, von Bertalanffy élabore une Théorie générale des systèmes, qui enfin ouvre la problématique systémique. Cette théorie (von Bertalanffy, 1968), s'est répandue tous azimuts, avec des fortunes diverses au cours des années soixante. Bien qu'elle comporte des aspects radicalement novateurs, la théorie générale des systèmes n'a jamais tenté la théorie générale du système. Elle a omis de creuser son propre fondement, de réfléchir le concept de système. Aussi le travail préliminaire reste encore à faire : Interroger l'idée de système.* » (p.101) °

Il y eu bien sûr dans ces années de maturations bien d'autres lectures qui contribuèrent à la formation de la 'Théorie de la modélisation systémique', titre sous lequel je reconnais plus volontiers ce livre trente ans après sa première rédaction. Je les évoquerai au fil du texte. On reconnaîtra sans peine je crois les influences de mes lectures d'alors : G. Bachelard, N.Wiener, F. Jacob, H. Atlan, R. Thom, I. Prigogine, puis plus tardivement G. Bateson, F. Varela, E. von Glazersfeld, G Vico, M. Mugur-Schachter comme aussi celles de J Fontanet, R. Passet, ou D Génelot…

Cette trop brève évocation[1] de « l'environnement intellectuel » de la genèse de ce livre permettra peut-être au lecteur de comprendre ce qui lui semblera parfois être un abus des citations d'autres auteurs. Je pourrais sans doute m'en justifier par une autre citation[2] : *Ses disciples demandèrent au poète Chen T'Ao pourquoi il consacrait tant de jours à calligraphier les poèmes de ses amis, au détriment de son œuvre propre : « Mon œuvre propre, répondit-il, est de faire toucher le cœur de chacun par ce qui a touché mon cœur.* » Une telle réponse serait sincère, profondément. Mais elle ne suffirait peut-être pas à convaincre : La Théorie du Système Général est une œuvre collective, celle d'une génération ; elle n'est la propriété ni d'une école, ni d'une nation, ni d'une discipline. L'extraordinaire diversité de ses contributeurs constitue sa richesse et sa validation la plus profonde et on l'appauvrirait en la dissimulant ou en personnalisant trop tant d'emprunts.

Comment mieux en témoigner qu'en reprenant, dans leur spontanéité, les termes de chacun, au lieu de les édulcorer involontairement en les paraphrasant. Je me suis efforcé pourtant d'éviter les ruptures de ton trop contrastées pour assurer une régularité paisible au rythme de la lecture : tous les emprunts sont reproduits en italiques et sont référencés au mieux (en général, par le numéro de page, le renvoi à la bibliographie aidant).

Tels sont les intentions et l'environnement, par la rencontre desquels fut conçu le projet par lequel fut construit ce livre. Leur rappel suffira peut-être à faciliter sa communication avec le lecteur pensif, qu'il soit homme ou femme d'étude ou d'action. N'est-ce pas la fonction que son auteur attribue à ce système qu'est devenu ce livre ?

D'aucuns s'indigneront sans doute de la folle ambition du projet. Ne nous condamnons-nous pas le lecteur à une transdisciplinarité permanente, le privant ainsi de ses points de référence familiers ? J'en conviens, sans fausse honte, évoquant la sévère ascèse intellectuelle que m'impose bien souvent l'exercice, et acceptant ses risques... tout en m'en protégeant de mon mieux en m'encordant à tous ceux qui, de H. A. Simon à E. Morin, montrent la voie et posent les crochets qui assurent désormais nos prises lors des passages difficiles.

Les mêmes, ou d'autres, regretteront le caractère inachevé de la théorie, ou plus souvent le caractère trop elliptique du propos. L'état de l'art, autant que les contraintes usuelles et légitimes de l'édition, leur donne pour une part raison ; mais peut-être conviendront-ils que l'entreprise dont ce livre témoigne est celle d'un

---

1 La bibliographie, actualisée en 1994, compte 450 entrées, et, en 2006, je crois que les quelques textes importants pour l'intelligence de la modélisation systémique et de la complexité publiés depuis sont dus à des auteurs déjà cités ici.

2. Que j'emprunte à Cl. Roy, in *Le Nouvel Observateur*, 5 janvier 1976, n°582, p. 53.

processus, d'une fabrication, et non celle d'un produit, fini ou semi-fini, celle d'un ouvrage plutôt que celle d'une œuvre..

Pourtant, par cette 'nouvelle édition pratiquement non révisée', ce livre se présente désormais comme un « classique », si bien qu'il sera perçu par les nouvelles générations de lecteurs comme un produit plutôt que comme un processus. L'évocation succincte du contexte de sa genèse les aidera peut-être à ré activer cet objet pour lui rendre le sens de son projet. L'enjeu ne le justifie-t-il pas ? Clercs ou responsables, hommes et femmes d'études comme d'action, pouvons-nous nous résigner à tant d'inattention sur la légitimité des connaissances par lesquelles nous exerçons notre intelligence dans « *le monde de la vie* »?

Un mot, ultime, à l'intention de tous ceux qui tentent, par l'enseignement, de transmettre en les activant les trésors de la connaissance qu'accumule l'humanité. Je sais d'expérience la difficulté pédagogique de mon entreprise. Quelques-uns déjà sont sur la brèche. J'ai souhaité par une annexe presque symbolique provoquer leur imagination et solliciter leur contribution.

*

* *

Cette nouvelle édition dans la Collection des '*Classiques du Réseau Intelligence de la Complexité*' reprend, avec de très légères modifications, le texte de la 4° édition mise à jour en 1994, publiée, comme les trois précédentes (1977, 1984, 1990) chez un autre éditeur, et toutes épuisées. L'introduction (p. 5) présente les principaux arguments pris en compte pour les compléments introduits dans le corps du texte lors de la seconde édition de cet ouvrage en 1984. La postface de la quatrième édition (, 1994, p. 273) propose une mise en perspective des développements de la modélisation systémique depuis1977.

Sur le tronc constitué en 30 ans par ce '*classique de la systémique*', se sont développés deux branches, l'une privilégiant « *La modélisation des systèmes complexes* » (ed. Dunod, 1991 - 2003), l'autre privilégiant l'épistémologie de la modélisation. (Les trois premiers tomes du « *Constructivisme* », notamment le tome III : « *Modéliser pour comprendre* », qui paraît en 2004, ed. L'Harmattan, collection Ingenium).On trouvera dans ces derniers ouvrages les compléments bibliographiques couvrant la période 1994-2004. Et en consultant le '*Cahier des Lectures MCX*' disponible sur le *Site du Réseau Intelligence de la complexité* une mise à jour établie collectivement qui se poursuit régulièrement.

introduction *

« Aie l'habitude de tenir à la main un fil à plomb, pour pouvoir apprécier l'inclinaison des choses. »

(Léonard de VINCI,
Traité de la peinture, § 97.)

Ainsi ce grand chantier, déjà bien avancé, certes inachevé, peut-être inachevable, que l'on peut photographier périodiquement : en superposant les épreuves, on perçoit plus aisément les projets des fondateurs, les intentions de leurs successeurs, les strates accidentelles, *l'inclinaison des choses* : l'examen de la seule photographie établie en 1983 de la *théorie du système général* entendue par une *théorie de la modélisation* est sans doute moins enrichissant pour l'observateur — ici pour le lecteur — que le diagnostic des différences que lui révélera la superposition de ce cliché à celui que l'on avait établi il y a sept ans. Proposition qui légitimera le procédé d'exposition que l'on retient pour organiser la nouvelle édition, revue et complétée, de cet ouvrage qui fut publié pour la première fois en 1977 : reproduire — quasi intégralement) [1] — le document initial (la photographie 1976 du chantier), dont on n'a pas de raison de reconsidérer l'essentiel (ni le projet, ni la problématique retenue, ni le schéma directeur auto-organisant l'exposé) ou d'infirmer les détails ; puis, sur ce duplicata, mettre en valeur les développements, inégalement importants selon les ailes du bâtiment, qu'a connus *le chantier systémique* au cours des sept dernières années : par le jeu d'une « Relecture » complétant les différents chapitres, de quelques nouvelles notes [2] et de divers compléments bibliographiques.

---

* Cette introduction rédigée en mars 1983, pour la deuxième édition de cet ouvrage, présente les modalités et les arguments directeurs retenus pour l'établissement de la révision et des compléments apportés à la première édition publiée en 1977 (aujourd'hui épuisée), et rédigée en 1975-1976.

1. On s'est autorisé une réécriture partielle des chapitres 2 et 3, afin de tirer parti des améliorations d'ordre didactique suggérées par plusieurs étudiants et auditeurs, que l'on remercie ici...

2. Ces notes ajoutées à la nouvelle édition sont appelées dans le texte par une lettre minuscule (a, b, c...) et présentées en fin de chapitre, par commodité typographique.

1. Les nouveaux affluents reconnus de la systémique

Quelles sont les origines de ces développements, parfois tenus pour très importants par leurs conséquences épistémologiques ou instrumentales ? On peut aisément en reconnaître quelques-unes, s'il est plus délicat de les désenchevêtrer dans leurs interactions.

L'expérience pédagogique

L'expérience pédagogique et la pratique scientifique de l'auteur et de la communauté qui se reconnaissent peu à peu dans l'enseignement et la recherche en matière de science des systèmes [1] : mûrissements, approfondissements, décantation... Ces processus de foisonnement sont si coutumiers dans l'histoire de toute construction théorique qu'il n'est pas nécessaire de les commenter, malgré leur rôle manifestement décisif.

Les interpellations des pratiques transdisciplinaires

Les interrogations et les commentaires issus de communautés scientifiques très diverses, qui se sont progressivement intéressées, plus et plus vite qu'on ne l'anticipait, à l'interprétation épistémologique et méthodologique de la théorie de la modélisation des phénomènes perçus complexes : on ne pourra hélas mentionner ici les noms de tous ceux qui, par leur attention, leur disponibilité et leur curiosité intellectuelle, ont fait progresser cette recherche à partir de leur propre expérience de modélisation scientifique en géographie et en agronomie, en psychiatrie et en sciences politique et juridique, en sciences de l'éducation et de la communication, en science économique et en histoire, en sciences de la commande (l'automatique) et en sciences de l'information (l'informatique et le traitement du signal), en neurobiologie et en thermodynamique, en mécanique et en topologie, en sciences de l'ingénieur et en architecturologie, en logique formelle et en épistémologie : que l'on ne voie nulle pédanterie de salon dans cette énumération ; peut-être même entendra-t-on l'émotion et la gratitude avec lesquelles je la reconnais, en tournant les pages des sept derniers agendas : conférences, colloques, rencontres, que je ne fuyais certes pas, mais

1. La systémique ou science des systèmes, ou science de la modélisation par les systèmes : le vocabulaire n'est pas encore très stabilisé, pas plus en français qu'en anglais. On peut pourtant mentionner la constitution, en 1979-1980, du « Collège de Systémique », au sein de l'Association française de Cybernétique économique et technique (AFCET), qui accueille sans exclusive les ingénieurs et scientifiques qui se reconnaissent dans la systémique.

que je ne provoquais pas : sans que jamais je ne me sente écartelé ou dispersé, atomisé entre des disciplines que l'on entend si différentes, ou tiraillé entre les cultures francophones, latino-méditerranéennes ou germaniques, au sein desquelles elles se sont surtout exprimées jusqu'ici. L'étonnante convergence des questions — et des suggestions — vers *les méthodes de conception de modèles intelligibles des phénomènes perçus dans leur complexité* et l'appel à quelques vigoureuses rigueurs pour libérer les recherches de l'étreinte fatale des analyses réductionnistes constituent des stimulants intellectuels dont on présume aisément l'efficacité [1].

L'institutionnalisation de la systémique

L'exceptionnel foisonnement de la systémique, de par le monde, mais peut-être plus intense encore en francophonie au fil des sept dernières années, a constitué un environnement particulièrement propice à de nombreux développements théoriques qu'il importait de repérer avec attention dès leur émergence. N'est-il pas remarquable que dans la seule année 1977, année de la parution de la première édition de ce livre, on vît apparaître en France, outre le tome I de *La méthode,* d'Edgar Morin, dont on dira plus loin l'extrême importance, au moins cinq ouvrages tenus pour fort novateurs et désormais textes de références de la systémique francophone : *Les systèmes du destin,* de Jacques Lesourne ; *Systèmes et modèles,* de Bernard Walliser ; *Le social et le vivant, une nouvelle logique politique,* de joseph Fontanet ; *L'acteur et le système,* de M. Crozier et E. Friedberg ; et *Modélisation et maîtrise des systèmes technique, économique, sociaux,* actes du Congrès AFCET de Versailles 1977 ; ce jaillissement soudain allait s'organiser en un écoulement un peu plus régulier, mais néanmoins fort dense : mentionnons quelques titres d'ouvrages de langue française que l'on tient pour particulièrement significatifs de ces développements récents de la systémique [2] : en 1979 : *Le paradoxe et le système,* d'Yves Barel ; *Entre le cristal et la fumée, essai sur l'organisation du vivant,* d'Henri Atlan ; *Approches systémiques des organisations,* de J. Mélèse ; *L'économique et le vivant,* de René

---

1. Parmi les études critiques publiées sur la première édition, il faut avec gratitude mentionner notamment celles de Jacques LESOURNE *(Informatique et Gestion,* n° 96, mai 1978), de F. VARELA (*International Journal of General Systems,* vol. 5, n° 2, 1979), C. P. BRUTER (*Kybernetes,* vol. 9, n° 4, 1980) et M. POLITIS *(L'Informatique nouvelle,* juin 1978), qui proposaient des commentaires dont on a tiré un grand profit. Il en va de même des débats sur les thèmes de ce livre animés par le Pr Jean Piaget, peu avant sa mort, au séminaire 1980 du Centre international d'Épistémologie génétique, et par le Pr François Perroux à un séminaire 1979 de l'ISMEA au Collège de France.

2. On ne peut bien sûr tout citer. Mais il faudrait mentionner aussi bien des titres de la remarquable collection « Recherches interdisciplinaires » animée par P. DELATTRE aux Éditions Maloine.

Passet ; *La nouvelle alliance,* de Ilya Prigogine et Isabelle Stengers ; *L'enfer des choses, René Girard et la logique de l'économie,* de Paul Dumouchel et Jean-Pierre Dupuy ; en 1980, le tome II de La *méthode,* d'Edgar Morin ; en 1982, *La notion de système dans les sciences contemporaines, sous* la direction de Jacques Lesourne ; *Ordre et désordre,* de Jean-Pierre Dupuy ; *Pour une philosophie du nouveau développement,* de François Perroux...

À ces références en langue française, il faut évidemment associer les ouvrages... toujours aussi nombreux... qui paraissent en langue anglaise au long de ces mêmes années : le prix Nobel de Science économique attribué en 1978 à H. A. Simon va rendre beaucoup plus accessible l'œuvre de cet exceptionnel pionnier de la science des systèmes : entre 1977 et 1982, cinq gros ouvrages vont paraître, rassemblant bon nombre des études du premier peut-être des grands chercheurs transdisciplinaires contemporains ! En 1978, paraît l'important traité de Richard Mattesich, *Le raisonnement instrumental et la méthodologie systémique* (traduction du titre... d'un ouvrage non encore traduit en français) ; en 1979, paraissent *Les principes de l'autonomie biologique* (traduction du titre), de Francisco Varela, qui fonderont peut-être une « science de l'autonomie » [1] que la systémique aspire à justifier (que pourrait être pour elle un système... non autonome ?).

Les premiers textes de F. Varela étaient disponibles depuis peu grâce à la première revue internationale de systémique (Le *Journal international de Systémique générale*) [2] qu'anime George Klir depuis 1975 ; en 1979, paraît une autre revue internationale, relativement complémentaire, la revue *Human System Management ?* qu'anime Milan Zeleny. Et 1983 verra paraître une troisième publication internationale, *Systems research,* animée par N. Warfield (qui avait publié en 1976 *Societal Systems, Planning, Policy and Complexity,* ouvrage de base désormais de l'analyse structurale, cf. chap. 5). Cette brève mention permet d'évoquer sans les énumérer bon nombre des sources étrangères dont on s'est aidé pour actualiser le propos... ou pour valider les propositions initiales [3].

---

1. Edgar MORIN pose la question en 1980 : « Peut-on concevoir une science de l'autonomie ? », par un article paru sous ce titre dans les *Cahiers internationaux de Sociologie* (vol. LXXI, 1981, p. 256-267).

2. « The International of General Systems » (GORDON and BREACH).

3. Il est plusieurs autres revues internationales de systémique, nées entre 1950 et 1965 : elles se présentent souvent plus volontiers comme des revues de cybernétique, sauf bien sûr *l'Annuaire* de la célèbre Société pour la Recherche en Systémique (SGSR) qui paraît sans discontinuité depuis 1955. Cette brève évocation des sources étrangères contemporaines qui ont influencé notre relecture de *La Théorie du Système Général* devrait mentionner quelques œuvres non encore toutes traduites en français de G. BATESON et de l'école de Palo-Alto, de H. von FOERSTER, de G. GUNTHER, de H. QUASTLER (décédé en 1964, que l'on redécouvre peu à peu grâce à la médiation

Relectures des épistémologies

La pratique, l'échange transdisciplinaire, le foisonnement de la littérature scientifique contemporaine ne suffisent pas à engendrer tous les développements — explicites ou non — que l'on se propose de graver sur la matrice initiale : toute recherche théorisante suscite un mouvement récursif dans l'histoire de la pensée (*Faire de la philosophie, c'est faire de l'histoire,* aimait rappeler Benedetto Croce). On savait, en 1976, en publiant la version originale de *La Théorie du Système Général, théorie de la modélisation,* que l'on n'avait que très partiellement repéré les innombrables contributions que l'histoire de la science accumule pour enrichir nos méthodes de modélisation. Pour ne citer que les plus proches, on savait qu'on n'avait pas encore assez travaillé les œuvres essentielles pour notre propos de Jean Piaget, de Gaston Bachelard, d'Alexandre Koyré, de Paul Valéry, comme bien sûr celles des grands logiciens, Hegel, ou Husserl ou Russell, ou tant d'autres... On savait qu'il fallait découvrir Léonard de Vinci face à René Descartes ou Archimède face à Aristote... De telles entreprises ne s'achèvent pas, et l'on se condamnerait à ne jamais progresser si l'on s'astreignait à une maîtrise préalable parfaite de tous les grands textes fondateurs de la pensée humaine. Mais, sans s'achever, elles peuvent se poursuivre, inlassablement ; et ces ressourcements ont marqué ces sept dernières années, au fil desquelles la systémique s'est reconnue mieux assurée dans ses légitimations épistémologiques et dans ses filiations au sein de l'histoire de la connaissance scientifique.

Les découvertes de pionniers méconnus

À l'ombre de ces géants, il est souvent quelques « mal connus » de l'histoire, dont on découvre parfois avec émotion qu'ils avaient — prémonition, génie... ? — perçu ou conçu tels ou tels traits aujourd'hui essentiels de nos constructions théoriques et expérimentales. Ces découvertes, ou ces instants d'attention, contribuent à nos re-constructions — ici de façon illuminante, là de façon plus implicite (elles *confortent* la pensée). Milan Zeleny, par exemple, mérite une légitime célébrité pour avoir découvert un chercheur polonais, Trentowski, qui avait, cent ans avant le père officiel de la cybernétique, Norbert Wiener, non seulement conçu cette discipline,

---

d'Henri ATLAN) et de l'œuvre d'une équipe russe, malheureusement encore accessible seulement par une traduction anglaise : I. BLAOUBERG, V. N. SADOVSKY et E. G. YUDIN, *Systems theory, philosophical and methodological problems* (traduit du russe, 1969, 1977).
On trouvera en annexe 4 de cette troisième édition quelques indications mises à jour en 1990 sur les développements institutionnels nationaux et internationaux de la recherche en systémique.

mais qui l'avait baptisée sous ce nom en publiant un ouvrage ayant ce titre ! Mais le texte de Trentowski nous est encore inaccessibles [1]. Il n'en va pas tout à fait de même du père de *La tectologie*, un chercheur russe exceptionnel, A. Bogdanov, qui publia à Moscou, entre 1913 et 1920, les trois tomes d'une *Science universelle de l'organisation, ou tectologie*, qui semble bien devoir être reconnue aujourd'hui comme le premier traité complet de systémique générale ! Quelques traductions en anglais de ce texte introuvable deviennent disponibles depuis 1980, et l'on rapporte que les autorités soviétiques commencent depuis peu à autoriser son examen ! La chance du chercheur obstiné le conduit ainsi à quelques nouvelles découvertes : instants précieux de ce contact avec des feuillets jaunis par lesquels on croit presque communiquer avec un complice qui... dans son langage... semble dire ce que l'on tente de percevoir ainsi ces *mécanismes communs aux phénomènes disparates* que publiait Michel Petrovitch en 1921 à Paris : prémonitoire contribution à une théorie de la modélisation qui cherche les communautés de la démarche modélisatrice derrière la disparité des apparences [2] ! Il était plus aisé d'être attentif à l'œuvre de P. Vendryes qui poursuit, en physiologiste-probabiliste, une réflexion introduite par Claude Bernard, *Déterminisme et autonomie*, daté de 1956, et *Vie et probabilité* de 1942. Ces divers courants, souvent souterrains, irriguent plus peut-être que nous ne le percevons aujourd'hui les développements contemporains de la systémique que l'on se propose de reconnaître ici, dans leurs tensions, leurs conflits et leurs convergences [3].

2. Exposé des motifs justifiant quelques transformations

La nature et l'origine des matériaux à l'aide desquels progresse aujourd'hui la construction de la théorie de la modélisation systémique devaient être succinctement évoquées pour faciliter les repérages que peut souhaiter le lecteur abordant des paysages peu

---

1. Milan ZELENY, Cybernetics and general systems — A unitary science ?, dans *Kybernetes*, vol. 8, 1979, p. 17-23.

2. Je remercie Pierre Berger qui eut le flair de la trouvaille devant la caisse du bouquiniste... et qui me fit l'amitié de me la communiquer.

3. Il faut solliciter l'indulgence du lecteur qui aborde *La Théorie du Système Général, théorie de la modélisation* par cette première partie de la Réintroduction 1983 : cette énumération de noms d'auteurs qu'il entend mentionner peut-être pour la première fois est surtout destinée à éclairer les chercheurs en science des systèmes : puisque le chantier de *La Théorie* est encore inachevé, il est loyal de mentionner les origines des matériaux que l'on retient pour le faire progresser : de tels choix sont scrupuleusement délibérés, mais ils ne sont pas neutres. Le spécialiste attentif trouvera dans diverses études publiées par l'auteur entre 1978 et 1983 bon nombre des commentaires supportant ces délibérations intérieures (cf. Bibliographie complémentaire, p. 299).

familiers ; il est d’autres sources dont certains regretteront qu’on ne les mentionne pas : celles que je n’ai pas encore su ou pu découvrir, mais aussi celles dont il me semble qu’elles appartiennent plus à une *théorie générale du Système-Univers* qu’à une *théorie de la modélisation systémique.* On avait déjà, en 1976, proposé cette typologie des discours sur les systèmes en général (cf. p. 59). Il semble que ce clivage se soit accentué ces dernières années [1], chacune des deux problématiques accusant mieux ses options épistémologiques de référence :

La *théorie générale du Système-Univers* se veut positiviste et par là même relativement impérialiste : elle souhaite aboutir à des énoncés du type : « La théorie démontre que... », énoncés que les scientifiques pourraient imposer aux politiques. Les vertus heuristiques de cette nouvelle *philosophie naturelle* sont trop certaines pour que l’on se prive de ses services (et bien des références que l’on a utilisées dans ce livre et dans son actualisation renvoient à des travaux qui se veulent ostensiblement positivistes). En se convainquant qu’il est une Vérité suprême et éternelle, ne trouve-t-on pas une forte incitation à la chercher... fût-ce par bribes ? Ce que l’on trouve, en cherchant, échappe dès lors à ses inventeurs, et devient propositions ou énoncés peut-être féconds pour d’autres qui ne se résignaient pas à se contraindre par un credo déterministe initial ?

La *théorie de la modélisation systémique* s’accepte *constructiviste,* au sens proposé de Jean Piaget pour l’intelligence de la connaissance non pas un résultat, une vérité définitive, immuable, divine peut-être, mais un processus, une construction : la connaissance est l’action de construire la connaissance. Nul peut-être n’a mieux mis en valeur ce caractère fondamentalement récursif de l’action modélisatrice — car connaître c’est modéliser [2] — que Heinz von Foerster dans quelques-uns des beaux textes qu’il a consacrés à l’épistémologie piagétienne [3]. Heinz von Foerster que l’on rencontre, sans cesse, discret et efficace, à l’origine de la plupart des

---

1. Une étude de J. P. VAN GIGGH et N. J. KRAMER met particulièrement bien ce clivage en évidence, en distinguant une inspiration ontologique et une inspiration constructiviste ou axiomatique et méthodologique de la science des systèmes : A taxonomy of systems science, dans *International journal of man-machine studies,* vol. 14, 1981, p. 179-191.

2. Le bel article de J. LADRIERE, Représentation et connaissance, dans l’*Encyclopedia Universalis* (vol. 14), éclaire remarquablement cette théorie de la connaissance.

3. L’œuvre de H. von FOERSTER est malheureusement encore fort dispersée. On peut mentionner ici la communication qu’il a rédigée en 1976 pour le quatre-vingtième anniversaire de Jean Piaget (hommage significatif) : « Objects : Tokens for (Eigen-) Behaviors » (University of Illinois-Urbana). Voir B. INHELDER *et al.,* 1977 (Delachaux-Niestlé). Voir aussi (cf. bibliographie) : H, von FOERSTER, « Observing systems » (1981).

contributions qui construisent aujourd'hui la théorie de la modélisation des complexités perçues par l'artefact Système.

On est ainsi conduit, par une inéluctable probité, à afficher plus ostensiblement encore *l'option épistémologique* qui fonde la construction théorique que l'on propose. Il était certes tentant de dissimuler, dans un œcuménisme scientifique de bon aloi, ce choix conscient : l'ambiguïté est souvent féconde ; on savait pourtant, dès 1976, qu'il importait d'être intellectuellement honnête en *annonçant la couleur, si* l'on voulait épargner à la jeune systémique la bouillie bavarde et inefficace de bien des *approches-systèmes* et autres *dynamiques des systèmes* qui postule un irénisme épistémologique bien illusoire. C'est pourquoi on a tenu à maintenir en l'état le chapitre I : « Discours de la méthode : l'ancien et le nouveau », de la première édition ; il demeure certes trop succinct, trop allusif, trop brutal aussi dans sa forme, mais il se veut loyal. On a, depuis, étayé soigneusement les justifications de cette option *constructiviste.* Mais on n'a pas été conduit à remettre en question la légitimité de ce fondement épistémologique de la théorie de la modélisation systémique. Aussi comprendra-t-on que l'on ait peu été incité à solliciter les contributions qui, accusant leur préférence exclusive à une ontologie analytique et universelle, ne livraient pas aisément ces *raisonnements instrumentaux* [1] différents que sollicite la modélisation systémique.

3. Se révèlent de nouvelles perspectives

Cet exposé des motifs de la procédure retenue pour décoder la représentation des avancements et des transformations de la théorie de la modélisation ne suffît pas à révéler ce que furent ces transformations. On se propose certes, chapitre par chapitre, de les mentionner en les référant suffisamment pour permettre au lecteur pensif — et donc au modélisateur — d'assurer lui-même ses propres prises. (Les métaphores de l'escalade de montagne surgissent spontanément lorsqu'on évoque l'action de conception-construction des modèles complexes : dès 1961, Marwin Minsky, un des pères fondateurs de l'intelligence artificielle [2], baptisait *hill-climbing,*

1. On emprunte l'expression « raisonnement instrumental » à R. MATTESICH, qui l'a justifiée dans son solide traité *Instrumental reasoning and system methodology...* solide mais quasi exclusivement austro-anglo-saxon dans ses nombreuses références.

2. Les correspondances entre les méthodes de la modélisation systémique et celles de l'intelligence artificielle sont si nombreuses que l'on peut presque assimiler ces deux disciplines. Herbert SIMON, que l'on tient, avec Marvin MINSKY, pour l'un des deux pères fondateurs de l'intelligence artificielle, plaide volontiers cette thèse en proposant de parler de *simulation des processus cognitifs* (cf. *La science des systèmes,* 1969-1974, p. 18). Le concept d'escalade (*hill climbing*) proposé par M. MINSKY

l'*escalade,* un des modes de raisonnement heuristiques les plus féconds en résolution de problème et donc en modélisation.)

Mais on doit à ce même lecteur pensif une sorte de panoramique la perspective cavalière que privilégie aujourd'hui l'architecte, la déclaration d'intention du maître d'œuvre (le concepteur) présentant sa nouvelle maquette et justifiant, devant le maître d'ouvrage (l'acquéreur, ici le lecteur), cette *inclinaison des choses* qu'il a privilégiée par cette relecture-réécriture d'une *construction cognitive,* acceptée dans ses *théorisations,* mais voulue *instrumentale,* que *l'action délibérée,* et donc la vie, fa incité à développer, en liberté : connaissance spinoziste, ou vincienne, réflexive, réalisation de l'autonomie, par notre propre conscience : *la joie même dans toute sa compréhension, à la fois conscience que le monde prend de soi et conscience que l'homme prend de soi.*

L'exercice est difficile et peut-être risqué, mais l'exposé d'un renouvellement théorique n'est pas un constat d'huissier : c'est enrichir la liberté du lecteur que de lui révéler les lectures de l'auteur ! Ces interprétations ne sont pas neutres, bien qu'elles prétendent n'être point contingentes.

La modélisation est une idée neuve

La première mise en perspective que l'on propose, avec plus de conviction encore que lors de la première rédaction, est bien *instrumentale :* la théorie du système général que l'on peut proposer aujourd'hui sans concession verbeuse sur sa qualité proprement théorique est une *théorie de la modélisation.* On a déjà souligné cette conviction dès l'exposé des motifs. Il faut y revenir encore à la façon dont Léonard de Vinci proposait d'accuser *in extremis* certains traits avant de livrer le dessin. Le concept même de *modélisation* est encore aujourd'hui une idée neuve, qu'ignore les dictionnaires. Ce n'est que depuis le début du siècle que le concept de *modèle* a droit de cité dans la pratique scientifique [1], et son homologation a été particulièrement lente : il n'est peut-être pas encore toujours différencié du concept plus impérialiste de *théorie* [2]. La (ré)novation ne tient pas tant à

---

apparaît dans un article publié par *Computer and thoughts* de FEIGENBAUM et FELDMAN, 1963.

1. On se réfère notamment à l'étude de Suzanne BACHELARD : Quelques aspects historiques des notions de modèles et de justification des modèles, dans le remarquable tome I de *Élaboration et justification des modèles,* présenté par P. DELATTRE et M. THELLIER (1979) *;* D. LECOURT (1981) rappelle (p. 156) un texte de 1902 dû à Boltzmann d'Un exceptionnel intérêt pour la conception contemporaine du « modèle ».

2. Dès 1955, H. A. SIMON et A. NEWELL discutaient fort bien cette distinction entre modèle et théorie, dans une étude hélas trop méconnue : Models — Their uses

l'actualité du mot : il pourrait s'agir d'une mode ! Elle tient à ce que la modélisation postule *a priori* non seulement la pluralité des modèles concevables d'un même phénomène, mais surtout la pluralité des *méthodes de modélisation.* Le temps n'est plus où l'on pouvait tolérer, à côté de la bonne méthode (*la seule méthode scientifique, la méthode analytique,* que seuls connaissent et pratiquent sérieusement les scientifiques assermentés !), des méthodes de modélisation pauvres, non scientifiques, juste tolérables pour les ingénieurs, les artistes, les stratèges, les comptables... Ne nous faut-il pas admettre aujourd'hui, avec *la mort de l'optimum,* la mort du *one best way* [1], la nécessaire pluralité, non seulement idéologique, mais aussi méthodologique, des processus de représentation des connaissances. Non par souci de tolérance condescendante, mais parce que nous devons convenir de l'impossible validation universelle. La liberté est au cœur de la cognition, peut-être parce que, assurait Léonard de Vinci, *elle est le plus grand don de la nature.* Dès lors, pour que nous puissions exercer notre raison et communiquer nos raisonnements, il devient indispensable que nous rappelions, à nous-mêmes et à l'autre, les règles du jeu que nous avons retenues pour concevoir et construire ce modèle de la réalité perçue et conçue à l'aide duquel nous raisonnons. Ces règles du jeu s'agencent nécessairement dans le cadre intelligible de quelques théories qu'assure seule leur *autocohérence* [2]. Elles doivent annoncer leur axiomatique... et la détermination de ces axiomes d'appui est autocontrainte par l'intention *même* du modélisateur. Dès lors, pour architecturer la connaissance, nous ne serons plus exclusivement réduits aux recettes des *méthodes hypothético-déductives :* nous disposerons du champ ouvert des *méthodes axiomatico-inductives* [3]. Dans ce champ, la famille des méthodes de représentation par correspondance homomorphique à un système pré-dessiné (les méthodes de modélisation systémiques) méritent d'être aujourd'hui soigneusement identifiées et agencées : ne se prêtent-elles pas particulièrement bien à l'expression intelligible

---

and limitations, dans *The state of the social sciences,* édité par L. D. WHITE, University of Chicago Press (1956).

1. *Le principe du « one best way », c'est-à-dire l'illusion que l'on peut séparer les moyens et les fins et que les techniciens peuvent déterminer le seul meilleur moyen une fois qu'une fin a été clairement fixée* : la définition est de M. CROZIER dans la postface qu'il avait donnée, en 1971, à Le pouvoir informatique dans l'entreprise, de C. BALLE et J.-L. PEAUCELLE (définition plus précise que celle qu'il avait proposée en 1963 en préface à la traduction française de Les organisations, de J. MARCH et H. SIMON).

2. On se réfère notamment aux développements épistémologiques sur la théorie de la cohérence introduits en particulier par N. RESCHER, *The coherence theory of truth,* Oxford, OVP, 1973.

3. P. DELATTRE a proposé une excellente présentation contrastée des *méthodes axiomatico-inductiaes* et des *méthodes hypothético-déductives* dans la préface qu'il a donnée à l'essai de C. P. BRUTER (1982), *Les architectures du feu.*

des phénomènes que nous percevons et que nous concevons complexes en référence à nos projets d'intervention [1] ? Telle est peut-être l'interprétation la plus tangible de l'étonnante émergence contemporaine de la systémique... dans le *système des sciences* [2].

Première perspective donc : la progressive théorisation des méthodes de modélisation des complexités perçues, et, en leur sein, la nécessaire définition des méthodes de modélisation systémique une théorie du système général est aujourd'hui nécessaire parce que nous avons besoin d'une explicitation d'une théorie de la modélisation par les systèmes.

Le paradigme de complexité

La seconde mise en perspective susceptible d'éclairer le nouvel état du chantier systémique est si remarquablement formulée par Edgar Morin architecturant *la méthode* par *le paradigme de complexité* qu'on ne devrait ici qu'inviter le lecteur à sa redécouverte dans l'original ! Le tome I de *La Méthode* parut le jour [3] où partaient chez l'imprimeur les ultimes épreuves de la première édition de *La Théorie du Système Général, théorie de la modélisation : le* projet d'Edgar Morin était — et demeure — beaucoup plus ambitieux que le mien qui voudrait n'être qu'instrumental : transformer une vague philosophie de la connaissance en une *Science de la science* en s'astreignant à des explorations profondes et exigeantes. Il fournit à l'artisan qui tourne ses outils à la fois mille utilisations nouvelles, mais aussi mille idées d'instruments nouveaux, mieux adaptés encore. Je confesse ma joie lorsque je pris conscience de la compatibilité implicite de mon entreprise avec son projet. Mais aussi mon hésitation : si rien n'est à renier, il est bien des économies dans la présentation et bien des insistances dans l'argumentation qui mériteraient d'être mises en valeur pour tirer parti, autant qu'il se peut aujourd'hui, de cette exceptionnelle synthèse. Il faut pourtant respecter les rythmes de progression de notre chantier le tome III de *La Méthode* (*La connaissance de la connaissance*) paraîtra sans doute un an ou deux après la présente réédition et la logique même de *La Méthode* est d'être processus beaucoup plus que résultat : achevée, il

---

1. Cet argument a été illustré et discuté dans une étude publiée par *Économies et Sociétés* (série EM, n° 6, t. XIV, n[os] 8, 9, 10, oct. 1980) sous le titre : Une axiomatique, les règles du jeu de la modélisation systémique.

2. On entend le *système des sciences* au sens où le présente Jean PIAGET dans l'encyclopédie Pléiade, *Logique et connaissance scientifique* (1967). On a proposé une discussion de l'insertion de la systémique dans le système des sciences dans l'article : L'analyse de système, malgré tout..., publié par *La Pensée*, n° 210, février 1980.

3. Fin avril 1977.

faudra la reprendre ! Pour notre propos, l'intérêt contingent, mais décisif, des deux tomes déjà publiés de *La Méthode* tient à leur capacité synthétique : il n'est pratiquement pas un seul des arguments constitutifs de la systémique, fût-il parmi les plus récemment élaborés, ou parmi les plus oubliés des anciens, qui ne soit aujourd'hui pris en compte et mis en perspective par cette entreprise à la fois titanesque et aisément accessible. D'où une sorte de validation récursive des arguments de cohérence par lesquels on avait agencé en une théorie les traits constitutifs du système général. On verra, en cheminant, que l'architecture de la théorie se moule naturellement dans les articulations de l'*hyperparadigme de complexité*, dans la formulation puissante qu'en propose E. Morin. C'est ce concept même de complexité qui ici nous livre la clef la plus décisive de la seconde perspective : entendre désormais la modélisation de tout *phénomène perçu et conçu complexe* par le refus de sa simplification, de sa mutilation [1] : il est des accès à l'intelligibilité de la connaissance qui ne contraignent pas d'abord à sa réduction, à son appauvrissement : *la plus puissante résistance à nos rationalisations, la complexité du réel. C'est alors que la complexité du réel peut stimuler la complexité de la pensée* [2]. L'instrument de cette stimulation, n'est-ce pas l'appareil de modélisation qui accepte cette complexité, à la fois inépuisable et intelligible ? C'est cet appareil que l'artefact système général prétend proposer, outil lentement ajusté par les pratiques tâtonnantes de l'expérience humaine construisant, depuis le Néolithique, la connaissance par *une attitude* d'esprit *véritablement scientifique, une curiosité assidue... un appétit de connaître...* [3]. Peut-on être indifférent à cette étonnante apparition du mot même de système, dans tant de cultures, dans tant de disciplines farouchement indépendantes, dès que les chercheurs tentaient de rendre compte du complexe, de l'inépuisable, du grouillement des interactions : rien d'artificiel dans cet artefact permanent. On comprend mieux ici pourquoi Herbert Simon ouvrit le premier chapitre de l'ouvrage qu'il voulut bien intituler en français *La science des systèmes, science de l'artificiel*, par une vignette de Simon Stevins qui proclamait : *Merveilleux, mais pas inintelligible* la modélisation par un système permet peut-être — doit permettre, au prix d'un peu d'ascèse intellectuelle du modélisateur — cette intelligibilité du monde qui n'élimine pas son merveilleux, sa complexité.

---

1. H. von Foerster a fait le procès de cette *trivialisation* de la complexité par ces modèles simplificateurs. J.-P. DUPUY et P. DUMOUCHEL le présentent dans *La trahison de l'opulence*, 1976, p. 68.

2. E. MORIN, *La Méthode*, t. II, p. 458.

3. C. LEVY-STRAUSS, *La pensée sauvage* (1962), p. 23.

« Oui, encore une fois, tout est organisation » [1]

La troisième perspective que l'on propose de retenir pour révéler les nouveaux développements de notre chantier nous est également suggérée par Edgar Morin : la représentation respectueuse de la complexité passe par le renouvellement de notre intelligence de l'organisation : on y avait été spontanément conduit dès la première rédaction de ce livre (cf. p. 2) et bien d'autres chercheurs, à peu près aux mêmes époques, aboutissaient à la même conclusion (F. Varela, 1979, en particulier, a senti intensément la nécessité d'un concept d'organisation qui ne se réduise pas à celui de structure). Dès le tome I de *La Méthode*, Edgar Morin dégageait le caractère central du concept et son potentiel de description, en même temps qu'il en établissait une définition opérationnelle et fortement argumentée (*la capacité d'un système à, à la fois, produire et se produire, relier et se relier, maintenir et se maintenir, transformer et se transformer*). Cette construction permet — récursivement — d'auto-organiser les trois modes de représentation d'un système dont l'enchevêtrement temporel constitue l'irréductible complexité : celui de l'action « dans » (les trans-actions, constitutives de l'*Eco*-organisation), celui de l'équilibration (l'*Auto*-organisation), celui de la transformation (la *Ré*-organisation). Dans cette problématique, Edgar Morin a raison je crois de considérer la théorie de l'organisation comme l'autre face, la face interne, de la théorie du système général ; importe ici la reconnaissance de la puissance — encore insuffisamment explorée — de ce concept garant de l'intelligibilité de tout modèle : organisé par construction, il doit devenir *organisant* par vocation, puisqu'il est, lui aussi, nécessairement, *organisation*. La modélisation systémique fonde son originalité sur sa capacité à respecter cette *dialectique constitutive de toute complexité : devenir en fonctionnant et fonctionner en devenant, en maintenant son identité*. Cette perspective organisationnelle va accuser, me semble-t-il, l'incomplétude du chantier dans son état 1983 ! Certaines voûtes s'élèvent, soutenues par des échafaudages peut-être fragiles, alors que les clefs de voûte ne sont pas encore livrées : celles en particulier qui assureront les grands appareils formalisés des *logiques* qui assurent l'économie cognitive de toute méthode de modélisation : clefs de voûte dont il faut convenir qu'elles ne sont pas encore taillées, malgré quelques entreprises d'un

1. L'interpellation, provocante dans son contexte historique, est de LA METTRIE, dans *L'homme-machine* (p. 131 de l'Edition Denoël-Gauthier, 1981).

extrême courage de logiciens [1] en butte aux sarcasmes de nombreux mathématiciens pour lesquels il n'est pas de salut en dehors de l'axiomatisation de la théorie des ensembles (et donc, pour eux, théorie des modèles) proposée par Zermelo en 1908 [2]. Une des interprétations suggérées par notre mise en perspective est peut-être de mettre en valeur l'importance de la pression culturelle considérable exercée — à son insu — par une école mathématique aujourd'hui dominante, le bourbakisme, qui faisait pourtant de la construction de *bons* modèles symboliques et universellement manipulables son objectif privilégié : pression qui sclérose et décourage les rares tentatives certes difficiles et tâtonnantes visant à formaliser quelques logiques (quelques règles économiques du jeu cognitif) qui permettent de dire — et de traiter la *conjonction* tout autant que la *disjonction.* N'est-ce pas pourtant l'interrogation la plus pratique que suscite l'usage si nécessaire du concept d'organisation en modélisation : ne pouvons-nous conjoindre l'organisé et l'organisant en une même opération, dès lors que nous les entendons, intelligemment, par cette conjonction ? On verra, c'est peut-être à ce jour un des acquis les plus originaux et les plus féconds de la théorie du système général, que cette intelligibilité peut être aujourd'hui exprimée par la médiation de *la mémorisation.* Concept puissant, sans doute, mais auquel il manque encore quelques prothèses formalisatrices, quelques symboliques complétées de leurs règles de manipulation, qui assureraient, de façon suffisamment convaincante, l'économie de leur bon usage et la validation des inférences qu'elles suggèrent.

Un système est un système, bas un ensemble !

Cette relative insistance sur la perspective organisationnelle de la modélisation systémique doit être complétée encore par une observation qui, à l'expérience pédagogique, s'avère moins triviale qu'on ne le croyait lors de la première rédaction de ce livre : elle tient à la confusion suscitée par la quasi-concomitance du développement pédagogique des *méthodes formalisées de modélisation analytico-ensembliste* et du développement théorique des méthodes de modélisation systémique. Les premiers systémiciens, ravis de découvrir, au début des années cinquante, les formalismes généraux

---

1. Je souhaite nommer ceux que j'ai personnellement pu commencer à travailler assez : J. Piaget et J.-B. Grize, Spencer Brown, F. Varela, G. Kalinowski, D. Hofstadter... Il en est d'autres, auxquels ces chercheurs se réfèrent volontiers dans leurs travaux.

2. Faut-il parler, en mathématicien pur, du *système Zermelo-Frankel ou,* en philosophe logicien, de *l'axiomatique* Fregge-Russel, qui lui est contemporaine ? L'important ici est le caractère fondamentalement *disjonctif* de ces formalisations symboliques qui toutes interdisent sans appel les raisonnements *récursifs.*

de la théorie des ensembles, crurent souvent qu'ils pourraient s'en servir impunément, et efficacement, au prix d'une petite concession de forme : il suffirait de *définir un système comme un ensemble.* On pourrait, je crois, citer plus de cent définitions différentes du mot système préconisées par les ouvrages de systémique, commençant par la formule : *Un système est un ensemble* (et se poursuivant en général par une forme du type : *Un ensemble d'éléments en interaction*). Définition longtemps tenue pour légitime puisqu'elle a supporté bon nombre des premiers développements de *l'analyse de système*... et qu'elle a valu à la systémique naissante la caution morale de bon nombre de mathématiciens ravis de noter qu'on se servait ailleurs de leurs théories. C'est sans doute à cette définition fort généralement acceptée que l'on doit l'apparition de l'antipléonasme : *analyse de système*... qui impliquait précisément qu'un système puisse être analysé par énumération de ses (présumés) éléments et de leurs (présumées) relations ! Donc en faisant comme si ce système n'était qu'un ensemble comme les autres, on perdrait ainsi implicitement et involontairement l'exceptionnelle fécondité du concept de système fondé sur cette *dialectique de l'organisé et de l'organisant* que l'on a succinctement évoquée précédemment la conceptualisation du *système général* non réductible à un ensemble ne se fera que tardivement (P. A. Weiss écrit en 1971 aux États-Unis : Qu'est-ce *qu'un système ? Et d'abord qu'est-ce qu'il n'est pas ?... Il ne s'agit pas d'un ensemble... Il est davantage qu'un ensemble complexe...* [1]. Mais entre 1951, date de la parution de l'article *fondateur* de L. von Bertalanffy et 1971... je ne suis pas certain que l'on trouverait d'autres remises en question de ce type. En France, E. Morin en 1977 et surtout Y. Barel en 1979 souligneront avec pertinence les ambiguïtés et les inconvénients de cette confusion). Il m'avait semblé normal, en rédigeant *La Théorie du Système Général,* de ne pas m'arrêter à la définition ensembliste : c'était précisément la capacité proprement systémique (ou, pour reprendre E. Morin, organisationnelle) du concept de système général qu'avait précisément provoqué mon entreprise : comprendre, enfin, de quoi il s'agissait [2]. On verra que ce

---

1. P. A. WEISS, *L'archipel scientifique* (1971-1974), p. 98. J. PIAGET, dans *Le comportement, moteur de l'évolution* (1976), a très bien mis en valeur « les notions que P. Weiss a tirées de l'idée de système » (p. 81).

2. J'ai publié (dans la même collection) en 1973-1974 un ouvrage sur *Les systèmes de décision dans les organisations,* qui commence, presque nécessairement, par un long chapitre sur *la théorie des systèmes :* je tentais d'y synthétiser en une trentaine de pages toutes les lectures disponibles sur cette théorie ; théorie dont j'avais évidemment besoin pour construire les concepts de *système de décision* et de *système d'information.* J'avais alors été surpris par ma propre insatisfaction quant à la pauvreté... théorique de cette théorie que j'avais pourtant explorée dans ses meilleures sources disponibles à l'époque. C'est précisément cette insatisfaction qui m'avait incité à poursuivre la quête qui aboutit à ce livre... et à cette conviction : un système n'est pas un ensemble ! Conviction d'autant plus rassurante qu'elle ne compromet pas

livre n'est qu'une définition suivie d'une scrupuleuse description de cet artefact fascinant : *Le système général.* Le propos me semblait si convaincant que je ne fus peut-être pas assez en garde contre les maladresses d'interprétation ; la définition ensembliste imprégnait tant les mentalités (et la prolixe littérature nord-américaine sur l'analyse des systèmes) que trop de lecteurs ne prêtèrent pas attention au fait que... nous ne parlions pas toujours le même langage !... Cette précision leur permettra peut-être de percevoir la source de bien des maladresses dans leur pratique d'une modélisation qu'ils voulaient systémique et qui s'avérait analytique ! Indépendamment du contenu propre de ce livre, on peut en outre suggérer un examen de conscience à bien des ingénieurs, organisateurs, informaticiens, médecins, économistes, juristes... qui, s'acharnant à représenter positivement ce qu'ils perçoivent comme un système par une structure invariante agençant des organes solides... aboutissent régulièrement à des modèles ensemblistes contraignants et d'un entretien fort onéreux ! Peut-être conviendront-ils que s'ils passaient de la question : *De quoi c'est fait ?* à la question *Qu'est-ce que ça fait ?* — et donc d'une *modélisation analytico-organique à une modélisation systémo-fonctionnelle* — ils décupleraient leur capacité modélisatrice en référence à leur projet. Il ne restera plus alors qu'à ne pas s'arrêter au stade de la modélisation fonctionnelle et à tirer parti des ressources du système général pour prendre en compte, dans son autonomie, le système *fonctionnant et se transformant* : mais ce propos n'est-il pas l'objet même de ce livre ? Projet inachevé pourtant, que révèle à nouveau notre mise en perspective : de l'autonomie perçue du phénomène modélisé à l'autonomie conçue du modèle, par la reconnaissance du *processus automodélisateur* que devra révéler une théorie de la modélisation systémique, il est quelques étapes qui ne sont pas encore toutes franchies. On comprendra mieux peut-être alors l'attention extrême que l'on propose de consacrer aux rares mais importants développements que connaît aujourd'hui la *science de l'autonomie.*

Modéliser, c'est décider

Cinquième perspective, que l'on tiendra peut-être pour paradoxale, voire inacceptable, pour l'exposé d'une théorie : celle de la progressive reconnaissance de la liberté créatrice du modélisateur. Il faut pourtant évoquer cette tension cognitive au cœur de tout processus de conception de modèles de la complexité : tout gain en intelligibilité, en communicabilité, en économie cognitive, en

---

le sérieux du chapitre publié en 1971-1974 : il devient un cas particulier, localement utile, de la théorie du système général, théorie de la modélisation.

généralité instrumentale ne doit pas se faire aux dépens de la liberté de l'artisan.

Attitude morale, voire moralisatrice, objectera-t-on ? Pourquoi pas, si cette morale veille précisément à ne pas contraindre, mais simplement à garantir la loyauté de la communication. Nulle science ne nous accule, au nom du bon usage de la raison humaine, à n'utiliser qu'un *algorithme de modélisation et un seul* : plus s'édifient les théories de la modélisation, analytiques ou systémiques, plus se manifeste la variété des axiomatiques sur lesquelles elles peuvent s'appuyer. La seule contrainte morale que la théorie impose dès lors au modélisateur est celle d'une vérification *a priori :* a-t-il explicité les quelques axiomes sur lesquels il va, progressivement, appuyer ses inférences et graver son dessin ? Mais il doit choisir, librement, cette axiomatique, et nulle théorie ne les calcule pour lui [1]. Les architectes, depuis longtemps, ont perçu que l'architecture pouvait être entendue comme une science (la première peut-être, et la plus élaborée, des sciences de la modélisation ? À moins qu'elle ne fût précédée, observe H.-A. Simon, par la musique, qui, pour les Grecs, était une science) ; et cet entendement les conduit à proclamer : *l'architecte doit décider* [2]. Expérience de l'architecte, de l'ingénieur, du stratège, du juriste, de l'administrateur. Plus il théorise ses méthodes, plus il restaure sa liberté. Plus il assure les performances de ses instruments, plus il a le choix de ses outils. Proposition paradoxale sans doute aujourd'hui dans une culture scientifique quasi inhibée par le positivisme de l'optimum et du one-best-way ? Paradoxe contingent. La rigueur et l'ascèse intellectuelle du modélisateur constituent les plus sûrs garants du bon usage de sa liberté, et contre elle ne

---

1. C'est sans doute pour cette raison que la théorie de la modélisation systémique ne trouve pas dans les développements — parfois remarquables — de la *praxéologie* les ressources qu'elle devrait espérer. C'est peut-être aussi ce qui explique la relativement faible audience d'une science contemporaine qui peut pourtant se targuer de quelques solides contributions parfois bien antérieures à la célèbre synthèse de T. KOTARBINSKI, *Praxeology : an introduction to the sciences of efficient action* (1965), présentées notamment dans l'ouvrage de J. OSTROWSKI consacré à *Alfred Espinas, précurseur de la praxéologie ; ses antécédents et ses successeurs* (1973). La praxéologie postule une calculabilité de l'action efficace, et donc des modèles de cette action, qui contraint souvent par trop la liberté cognitive du modélisateur au sens où on l'introduit ici.

2. La formule est de R. VENTURI dans son ouvrage *Complexity and contradiction in Architecture* (1966), traduit en français sous le titre *De l'ambiguïté en architecture* (1976), p. 46. On doit à Philippe BOUDON un *Essai d'épistémologie de l'architecture* (1971-1977) et d'autres études, qui mettent remarquablement en valeur la nécessité d'une épistémologie des sciences de la conception, qui a beaucoup éclairé notre propre réflexion sur ces paradoxes de la science de la modélisation.

prévaudra nulle théorie dominante, nul algorithme fatal garantissant l'exacte adéquation des moyens aux fins [1].

4. L'instrumentation de la modélisation

Si modéliser scientifiquement, c'est convenir du pouvoir discrétionnaire du modélisateur (ne sommes-nous pas tous des modélisateurs, dès lors que nous *formons projet* en échangeant ?), c'est aussi — et pour notre propos dans ce livre, c'est surtout — concevoir, *construire et apprendre à utiliser des instruments* dont on veut disposer pour modéliser : modéliser, *c'est instrumenter !* L'exposé méthodologique le plus construit de Léonard de Vinci (concepteur de modèles complexes par excellence) est son *Traité de la peinture* : la métaphore est significative lorsque l'on se souvient du rôle extraordinaire que Vinci donne au dessin dans ses entreprises de conception : pour lui — et souvent pour nous encore aujourd'hui — le dessin est l'instrument de modélisation presque le plus parfait ! On comprend mieux dès lors son acharnement à théoriser de son mieux cet instrument essentiel et à élaborer une sorte d'entendement méthodique et méthodologique de cette correspondance pensée-projettrait-pensée, par laquelle s'instaure l'acte de conception. Le lent passage de l'accumulation des tours de main aux recettes jusqu'à leurs théorisations se lit, avec émotion parfois, dans l'histoire enchevêtrée des sciences et des techniques : c'est une nouvelle strate de ces théorisations que propose aujourd'hui *La Théorie du Système Général : théorie de la modélisation ;* elle se doit d'être d'abord une *théorie de l'instrumentation de la modélisation.* C'est pourquoi on maintient volontiers, après ces sept premières années de pratique pédagogique et d'activité scientifique, la primauté que l'on avait introduite, dès la première édition, à la présentation de la *systémographie* (cf. p. 75) : le lecteur qui tiendrait cet ouvrage pour la présentation et le mode d'emploi de la *systémographie, instrument de conception-construction de modèles des phénomènes ou des projets perdus complexes,* ne trahirait pas l'intention de son auteur. On a certes veillé à mettre en perspective l'instrument et l'instrumentation dans les contextes épistémologiques, historiques et socio-économiques dans lesquels ils se justifient. Mais cet *environnement* ne doit pas masquer le *projet* par rapport auquel il s'entend. Peut-être faut-il ici souligner le caractère « raisonnable », et, au moins praticable de ce

---

1. La désormais célèbre métaphore de l'abeille et l'architecte de Karl MARX mérite d'être ici évoquée tant elle rend compte de cette liberté que sa science donne au concepteur : *L'abeille confond, par la structure de ses cellules de cire, l'habileté de plus d'un architecte. Mais ce qui distingue dès l'abord le plus mauvais architecte de l'abeille la plus experte, c'est qu'il a construit la cellule dans sa tête avant de la construire dans la ruche... (Le Capital,* p. 728 de l'Édition Pléiade).

projet, et inviter le lecteur à en convenir... Si l'on se devait de repérer, fût-ce cavalièrement, les grandes perspectives scientifiques, épistémologiques, culturelles, dans lesquelles notre travail se déploie, on ne devait pas s'arrêter à ces repérages : il s'agit de proposer quelques réponses argumentées et instrumentées à la question : *Comment modéliser ?* En précisant, autant que faire se peut, les *pourquoi de ces comments.*

*
* *

La postface pour la quatrième édition, rédigée en mars 1994, prolonge et met en perspective les développements de la systémique dont cette introduction (rédigée en 1983) présente l'ambitieux projet : construire une science des processus de modélisation à fin d'intervention des phénomènes perçus complexes (irréductibles donc à un modèle, aussi compliqué soit-il) ; une science des systèmes, dont « le système soit de représenter, et non d'expliquer » *(Paul Valéry, 1937,* Cahiers 1, *p. 846).*

PREMIERE PARTIE

le paradigme systémique

« Qui a le plus besoin de l'épistémologie ? Ce sont les ingénieurs, ceux qui ont le besoin le plus urgent d'une théorie de la connaissance, et la meilleure probabilité d'en créer. »

(S. PAPERT et G. VOYAT, 1968.)

« Toi qui médites sur la nature des choses, je ne te loue point de connaître les processus que la nature effectue ordinairement d'elle-même, mais me réjouis si tu connais les résultats des problèmes que ton esprit conçoit. »

(Léonard de VINCI, *Carnets.*)

« Chercher une méthode, c'est chercher un système d'opérations extériorisables qui fasse mieux que l'esprit le travail de l'esprit. »

(Paul VALERY, *Variétés.*)

« Un paradigme n'explique pas, mais il permet l'explication... il nous permet d'élaborer une théorie non mutilante... mais il ne produit pas automatiquement cette théorie. Au minimum c'est un » pense-bête » ; au maximum c'est un pense intelligent, qui nous aide à concevoir la complexité. »

(E. MORIN, 1980.)

« Bref, ce qui comptera désormais, dans les sciences comme dans les cultures, ce n'est pas le *modèle,* c'est la *modélisation...* »

(A. P. HUTCHINSON, 1982)

— « Alors il y a un ordre dans le monde !, criai-je, triomphant.

— « Alors il y a un peu d'ordre dans ma pauvre tête, répondait Guillaume. »

(Umberto ECO, 1982.)

« Et je développais une méthode sans lacune. Où ? Pour quoi ? Pour qui ? À quelle fin ? De quelle grandeur ? »

(P. VALERY, *Eupalinos.*)

2

CHAPITRE PREMIER

		A	S	E
3	**F**	4	7	10
2	**O**	5	8	11
1	**G**	6	9	12

« discours de la méthode » : l’ancien et le nouveau

1. La faillite du discours cartésien

Les « mess », ou la faillite de l’intelligence ?

Est-ce la même intelligence humaine ? Celle du *triomphalisme scientiste si fréquent chez les techniciens* (P. Delattre, 1974, p. 11), fiers de tant d’exploits technologiques stupéfiants et déjà familiers, et celle de la morosité amère qu’inspirent ces villes, ces usines, ces injustices, conçues, voulues par l’homme ? Est-ce la même intelligence, celle qui permet à un homme de marcher librement sur la lune et qui impose à tant d’hommes l’absurdité révoltante de la stagflation ? Y a-t-il donc une telle différence entre la maîtrise de la gravitation et celle de l’inflation ? Ce que l’intelligence humaine a su faire ici, ne sait-elle plus le faire là ?

Faut-il en convenir ? Le peut-on ? Passionnément, se référant agressivement aux seules méthodes qui ont fait hier leurs preuves et aux concepts qui les fondent : la raison, l’objectivité, la logique, les hommes d’action aussi bien que les hommes d’étude s’accrochent. La technocratie devient notre nécessaire régime ; efficacité, rentabilité, centralisation, intégration deviennent nos nécessaires références. La bureaucratie nous sert de moins en moins d’image repoussoir, de garde-fou ! Les échecs pourtant s’accumulent : faillite de New York, famine du Sahel africain, crise des systèmes d’enseignements, des systèmes de santé, des systèmes de transports... La science, elle-même ! *C’est le contraste de plus en plus évident, de plus en plus*

difficile à dissimuler, entre une science pléthorique et la stagnation manifeste de la pensée scientifique vis-à-vis des problèmes centraux qui affectent notre connaissance de la réalité (R. Thom) [1].

L'horizon lui-même semble bouché ! Les problèmes, hier difficiles à résoudre, semblent devenir des *mess* [2], ces magmas inextricables impossibles même à identifier correctement : la criminalité juvénile, le déficit de la sécurité sociale, la valse stupéfiante des cours des matières premières, l'asservissement du pouvoir judiciaire au pouvoir politique, l'économie viticole du Sud français..., faut-il énumérer plus avant ?

Un changement de « méthode » ?

Alors, démission de l'intelligence ? Celle qui pourtant avait su, non seulement faire atterrir *Viking* sur la planète Mars, mais aussi faire diffuser quelques minutes après, sur des millions d'écrans, les images captées par les caméras embarquées ! Un tel aveu, malgré tant d'échecs, nous demeure collectivement insupportable. Peut-être pouvons-nous explorer une autre issue, difficile et audacieuse ? Remettre en question *la méthode*, celle qui depuis trois siècles a fait ses preuves en Occident ? Fût-ce sous forme interrogative, la proposition tient du blasphème : objectivité et logique, analyse et synthèse, conditions nécessaires et suffisantes, évidence des lois naturelles, autant de pierres grâce auxquelles nous savions *raison garder*, au sortir d'un obscurantisme dégradant. Pierres qu'un des plus vénérés d'entre les nôtres avait su agencer en un illustre *Discours de la méthode pour bien conduire sa raison*, nous assurant ainsi, par la magie de l'écriture, d'une de nos rares certitudes.

Ce *Discours* qui pourtant ne constituait plus pour nous, depuis bien longtemps, *un événement intellectuel*, tant il était implicite, impliqué dans les mœurs et la culture occidentales, *comme une règle de vie intellectuelle dogmatique et paisible* [3]. Un dogmatisme si prégnant que nous n'oserions toujours pas aujourd'hui formuler le blasphème si quelques-uns des esprits les plus puissants et les plus originaux du début de ce siècle n'avaient déjà osé. En osant, ils

---

1. Cf. l'article de R. THOM dans *l'Organum,* t. XVII de *l'Encyclopedia Universalis,* intitulé, significativement : « la science malgré tout… ».

2. R. L. ACKOFF (1974, p. 21) propose ce nom intraduisible pour désigner les « *systèmes de problèmes qui ne peuvent être décomposés en problèmes plus simples... lesquels sont des minimess* ».

3. G. BACHELARD (1934, p. 151), dans un essai d'une étonnante pénétration, écrivait : *On sent bien d'ailleurs que ces règles n'ont plus, dans la culture moderne, aucune saleur dramatique. En fait, il n y a pas un lecteur sur cent pour lequel le* Discours *soit un événement intellectuel personnel. Qu'on dépouille alors le* Discours *de son charme historique, qu'on oublie son ton si attachant d'abstraction innocente et première, et il apparaîtra au niveau du bon sens, comme une règle de vie intellectuelle dogmatique et paisible.*

prouvaient : *un discours sur la méthode scientifique sera toujours un discours de circonstance, il ne décrira pas une constitution définitive de l'esprit scientifique* (G. Bachelard, 1934, p. 139). Le *Discours de la méthode*, un discours de circonstance ? H. Bergson, dès 1907, l'avait auguré (cf. L'évolution créatrice, p. 320-321, p. ex.) et quelques-uns des plus grands physiciens. Le propos pourtant était si révoltant que nous pûmes longtemps l'ignorer, et faire comme si les cent pages du Discours de 1637 constituaient l'éternelle constitution de l'intelligence humaine cherchant à bien conduire sa raison.

Le diagnostic de faillite de cette intelligence est si sévère qu'il nous faut aujourd'hui cesser de « faire comme si », et accepter aussi de remettre en cause cette règle de vie intellectuelle ! Si, après examen, ce discours de circonstance, bien qu'ancien, nous paraît toujours actuel, nous pourrons, rassurés, conserver nos habitudes paisibles... et, confiants dans cet exercice de la raison, nous acharner, demain comme hier, à la maîtrise de la connaissance, de la réalité ! Sinon, il nous faudra rassembler les matériaux d'un nouveau discours qui se saura, lui, de circonstance, à l'aide duquel nous pourrons peut-être développer de nouvelles formes d'exercices de notre raison... Parmi elles, peut-être en découvrirons-nous quelques-unes qui s'avéreront fécondes pour notre intelligence du monde contemporain et de ses *mess* !

L'entreprise commence donc par la lecture de l'ancien *Discours.* Elle est aisée. Le sage René Descartes avait pris soin de ramasser en une page les quatre préceptes qui fondent la méthode pour bien conduire sa raison... en 1637 [1]. On s'efface bien volontiers au profit de cette page si souvent citée qu'il nous faut quelque effort pour reconnaître l'événement intellectuel au lieu du thème lassant de dissertation scolaire !

Rationalité n'est pas seulement cartésianisme

Surprise peut-être ? Le texte familier ne nous dit pas... ce que nous entendions : objectivité, rationalité, probité intellectuelle, rigueur logique, qualité formelle..., mots clefs que nous aurions volontiers cités si l'on nous avait demandé à brûle-pourpoint de caractériser en un mot le cartésianisme, sans nous laisser le temps de relire le Discours. Il ne nous dit pas ces idéaux de la raison humaine mais, beaucoup plus pragmatiquement, quelques méthodes dont Descartes pensait (sans jamais le « prouver ») qu'elles permettaient d'atteindre

1. Et même, plus précisément, en 1619 : Descartes raconte cet hiver 1619 sur les rives du Danube, *où ne trouvant aucune conversation qui me divertît et n'ayant par bonheur aucun soins ni passions qui me troublassent, je demeurai tout le jour enfermé seul dans un poële où j'avais tout loisir de m'entretenir de mes pensées*. Mais, ajoutera-t-il, *la précipitation et la prévention étant le plus à craindre, je ne devais point entreprendre d'en venir à bout que je n'eusse atteint un âge bien plus mûr que celui de vingt-trois ans que j'avais alors...*

ces idéaux. Ce pragmatisme nous éclaire sur l'immense audience de ce discours ancien : il ne disait qu'à peine « où » conduire sa raison ; mais il nous disait « comment » la conduire ! Il n'écrivait pas, comme tant d'autres, avant et après lui, un discours sur la raison, mais un discours sur la méthode pour conduire sa raison. Ne se peut-il que nous l'ayons lu un peu précipitamment et que nous lui ayons demandé de nous dire à la fois la méthode et le but ? Un examen de conscience collectif serait ici peut-être bienvenu :

— la méthode impliquait un but, et un seul : l'acceptions-nous explicitement lorsque nous mettions en œuvre les quatre préceptes ?

— le but étant accepté, n'existe-t-il pas d'autres méthodes qui, en d'autres circonstances, s'avéreraient au moins aussi effectives et efficaces, peut-être plus générales, autorisant d'autres idéaux sans interdire les premiers ?

LES QUATRE PRECEPTES DU « DISCOURS DE LA METHODE »

« Ainsi, au lieu de ce grand nombre de préceptes dont la logique est composée, je crus que j'aurais assez des quatre suivants, pourvu que je prisse une ferme et constante résolution de ne manquer pas une seule fois à les observer.

« Le premier était de ne recevoir jamais aucune chose pour vraie que je ne la connusse évidemment être telle, c'est-à-dire d'éviter soigneusement la précipitation et la prévention, et de ne comprendre rien de plus en mes jugements que ce qui se présenterait si clairement et si distinctement à mon esprit que je n'eusse aucune occasion de la mettre en doute.

« Le second, de diviser chacune des difficultés que j'examinerais en autant de parcelles qu'il se pourrait et qu'il serait requis pour les mieux résoudre.

« Le troisième, de conduire par ordre mes pensées en commençant par les objets les plus simples et les plus aisés à connaître, pour monter peu à peu comme par degrés jusque à la connaissance des plus composés, et supposant même de l'ordre entre ceux qui ne se précèdent point naturellement les uns les autres.

« Et le dernier, de faire partout des dénombrements si entiers et des revues si générales que je fusse assuré de ne rien omettre.

« Ces longues chaînes de raisons toutes simples et faciles, dont les géomètres ont coutume de se servir pour parvenir à leurs plus difficiles démonstrations, m'avaient donné occasion de m'imaginer que toutes les choses qui peuvent tomber sous la connaissance des hommes s'entre-suivent en même façon, et que, pourvu seulement qu'on s'abstienne d'en recevoir aucune pour vraie qui ne le soit, et qu'on garde toujours l'ordre qu'il faut pour les déduire les unes des autres, il n'y en peut avoir de si éloignées auxquelles enfin on ne parvienne, ni de si cachées qu'on ne découvre. »

L’imprécision des buts de la méthode :
bien conduire sa raison ?

La première de ces deux questions appelle une réponse apparemment surprenante : les buts de la méthode, la définition du « bien » de ce « pour *bien* conduire sa raison » sont passablement implicites et imprécis. Non seulement dans les textes de René Descartes, mais aussi, ce qui est beaucoup plus curieux, dans les textes de ses innombrables exégètes, depuis plus de trois cents ans. Le titre d’un essai qui peut être tenu pour le chant du cygne de l’ancien discours, *Les infortunes de la raison* (A. Régnier, 1966), est à cet égard significatif. P. Delattre (1974, p. 8) le souligne justement : *L’universalité, l’objectivité, le souci d’exprimer notre connaissance du monde dans un langage univoque et intelligible pour tous évoquent immédiatement la raison. On pourrait s’attendre à ce qu’un tel concept, qui évoque la clarté et l’absence de doute, corresponde à une définition dénuée de toute ambiguïté. Il n’en n’est malheureusement rien... La notion même d’objectivité n’est pas aussi limpide qu’on le croit généralement. Le concept d’objectivité est étroitement lié à celui d’assentiment plus ou moins universel, mais cela ne suffit certainement pas.*

Se réfère-t-on à la logique plutôt qu’à la raison ou à l’objectivité ? *Sous l’influence d’une croyance naïve au progrès, on a souvent Prétendu que la pensée logique provenait de l’expérience sensible, ..., une sorte d’habitude mentale prise par l’homme au contact des objets matériels.*

Si cela était vrai, on comprendrait difficilement pourquoi seulement une petite fraction de l’humanité pratique le raisonnement de façon habituelle, et pourquoi, d’autre part, ces civilisations orientales qui ont atteint une très grande profondeur dans la connaissance psychologique en même temps qu’une habileté technique très supérieure à celle de la Grèce antique n’ont jamais connu notre logique (A. Régnier, 1966, p. 131).

Le paradoxe tient peut-être surtout au fait que les cartésiens que nous sommes ne tiennent pas pour paradoxale cette inaptitude à expliciter les objectifs de la méthode si *clairement et si distinctement que nous n’eussions aucune occasion de les mettre en doute !* Ne faut-il pas y voir au moins une sorte d’aveu implicite d’impuissance partielle de la méthode ? Cessant d’être universelle, elle devient contingente, sa dictature culturelle s’effrite. Ne faut-il pas demander aussi à ce paradoxe une autre leçon d’humilité : pourquoi imposer, *a priori,* à un éventuel nouveau discours de la méthode une contrainte que l’ancien n’a pas su ou pu franchir ? Limitons *raisonnablement* son objectif contingent à quelques déclarations d’intention aussi générales et imprécises que celles que retient André Régnier au terme de sa

méditation : *Pour ma part, ce motif me paraît être le besoin d'une perfection dans la connaissance.* P. Delattre, après avoir cité A. Malraux : *la vérité suprême est dans l'irrationnel,* nous proposera *un difficile équilibre fait d'intuition, de discernement et de rigueur... La vertu la plus difficile est sans aucun doute le discernement, qui constitue une sorte de charnière, et qui participe à la fois de l'intuition et de la rigueur. La pensée chinoise,* qui n'a jamais connu Aristote ni Descartes (mais qui se réfère aux philosophes ioniens du me siècle avant J.-C.) *n'a jamais cessé de tourner autour du Yin et du Yang... : Les contraires complémentaires. L'harmonie des contraires, c'est le Tao qui l'assure. Le Tao, c'est-à-dire la Voie* (A. Peyrefitte, 1973, p. 48).

Perfection, discernement, harmonie, éthique de la connaissance (J. Monod, 1970, p. 191), qualité formelle (A. Régnier, 1966, p. 142) ... Que chacun élabore ses propres intentions et les annonce, aussi peu communicables soient-elles dans leur *flou sémantique* [1]. Je suggérerai pour ma part : un projet permanent de *probité intellectuelle* sans vouloir l'imposer ni pouvoir le mieux définir qu'en le nommant [2] !

D'autres méthodes... pour bien conduire sa raison

La deuxième question : existe-t-il d'autres méthodes ? va s'avérer plus féconde et nous conduira, par une discussion critique de l'ancien discours, à la formalisation de son *contraire complémentaire. Nous* le reconnaîtrons, disponible dans la culture occidentale de 1975, attendant d'être assemblé à son tour en un nouveau discours. Un discours que nous lirons en le sachant *a priori...* de circonstance ! Il y a vingt-six siècles, Lao-Tseu enseignait : *la voie que l'on emprunte n'est pas la seule voie.* Reprenons pour cela chacun des quatre préceptes de Descartes et, examinant leur validité, cherchons à en

1. Le ton un peu péjoratif de la notion de « confusion » peut être éliminé sans inconvénient en la remplaçant par celle de « flou sémantique », écrit sereinement P. DELATTRE (1974, p. 22). Sans inconvénient sans doute, mais, souhaitons-le, sans illusion non plus !

2. Cette impossible définition de l'objectif de tout discours s'interprète peut-être par cette réflexion de R. THOM (1968, in l'*Organum* de *l'Encyclopedia Universalis*) : *qu'on me permette ici une interprétation — toute personnelle — du fameux principe de complémentarité en mécanique quantique, selon lequel on ne peut connaître simultanément position et altesse d'une particule. Pour moi, le vrai principe de complémentarité, qui domine toute notre activité intellectuelle, s'énonce : Tout ce qui est rigoureux est insignifiant.*
Tout ce qui est rigoureux est insignifiant ! Avant de nous livrer à ce blasphème, cette lutte avec l'ange, conclut R. THOM, un peu d'ascèse ne sera sans doute pas inutile !

identifier d'autres que nous tiendrons pour mieux adaptés à l'exercice de l'intelligence, aujourd'hui.

2. Les quatre préceptes du nouveau discours

Sur le précepte d'Évidence

Sur le précepte d'Évidence, tout ou presque a déjà été dit. Notre peur collective de l'absurde et de l'incertitude éclaire sans doute notre confiance en ce précepte... auquel nous faisions pourtant bien des infidélités : est-il beaucoup d'évidences proclamées que nous n'ayons honnêtement *aucune occasion de mettre en doute ? C'est par le biais de nos ignorances que s'insèrent en nous les slogans* (les évidences) *qui, à force d'être répétés, nous apportent les certitudes que nos seules connaissances ne pourraient pas justifier* (P. Delattre, 1974, p. 22). Le procès de l'Évidence naturelle a tant de fois été instruit qu'il est inutile de le reprendre ici sinon pour s'étonner de l'absence de rigueur intellectuelle de tant de cartésiens manipulant sans vergogne un concept aussi... douteux ([a]). Son contraire complémentaire, le concept auquel aujourd'hui nous nous référons lorsque nous nous proposons de tenir *quelque chose pour vraie,* semble être celui de *Pertinence* : c'est *par rapport* à quelques finalités explicitables que notre intelligence perceptive (et plus généralement : cognitive) s'exerce. Le signe égal n'a pas la même évidence pour l'arithméticien écrivant 2 + 2 = 4 et pour l'informaticien écrivant $N = N + I$, mais pour chacun d'eux ce signe est pertinent par rapport à leur projet du moment. De tels projets nous sont difficiles à identifier explicitement ? Sans doute ; peut-être parce que l'exercice ne nous est pas familier ? Notre intelligence s'enrichira à ce type d'entraînement : s'interroger régulièrement sur ce que nous voulons !

Sur le précepte réductionniste

Le précepte *réductionniste* est beaucoup plus solidement verrouillé l'analyse, cette décomposition *en autant de parcelles qu'il se pourrait,* est devenue synonyme de la méthode. Leibniz avait en vain attiré depuis longtemps notre attention : *cette règle de Descartes*

est, de peu d'utilité tant que l'art de diviser... reste inexpliqué. En divisant le problème en parties inappropriées, on peut en accroître la difficulté. P. Valéry avait en vain stigmatisé *ce vice qui consiste à prendre la partie pour le tout*. L'analyse seule semble devoir être la clef de la connaissance. J'en prends à témoin un texte récent d'un chercheur illustre, considéré comme l'un des plus ouverts aux remises en question de la science sur elle-même : *on sait que certaines écoles de pensées (toutes plus ou moins consciemment ou confusément influencées par Hegel) entendent contester la valeur de l'approche analytique... Selon ces écoles (« organisistes » ou « holistes ») qui, tel le phénix, renaissent à chaque génération* [1]*, l'attitude analytique, qualifiée de « réductionniste » serait à jamais stérile... C'est là une très mauvaise et très stupide querelle, qui témoigne seulement chez les holistes d'une profonde méconnaissance de la méthode scientifique et du rôle essentiel qu y joue l'analyse*. On est un peu surpris par cette intolérance. On comprend mieux le blocage culturel de ces censeurs en... analysant... l'exemple par lequel J. Monod veut prouver sa thèse : Peut-on seulement concevoir qu'un ingénieur martien roulant interpréter le fonctionnement d'une calculatrice terrienne puisse parvenir à un résultat quelconque s'il se refusait, par principe, à disséquer les composants électroniques de base qui effectuent les opérations de l'algèbre propositionnelle ? (J. Monod, 1971, p. 93.) Mais oui, précisément, on peut le concevoir ! Nous le faisons en permanence, en interprétant le fonctionnement de nos diverses calculatrices de poche. La plupart d'entre nous, non pas par principe, mais par économie (ou par paresse), se refusent à disséquer les composants électroniques de base, et pourtant nous parvenons à des interprétations (plus fonctionnelles que structurelles, sans doute, mais est-ce là l'important ?) telles que nous parvenons à améliorer nos performances dans leur usage, à les entretenir et à les dépanner, parfois même à les coupler à d'autres appareils. Comment alors, face à ce succès, nous interdire cette entreprise de conception sous prétexte qu'elle ne satisfait pas aux canons analytiques de la méthode cartésienne ? (Car il y a abus de langage à réserver l'expression méthode scientifique à la seule méthode cartésienne, comme le fait ici J. Monod, après beaucoup d'autres !)

Une telle obstination dans le dogmatisme, une telle inaptitude à convenir de l'impuissance de l'analyse cartésienne, à rendre compte de l'expérience stupéfieraient sans doute l'hypothétique ingénieur

---

1. J. Monod renvoie *ici à Beyond Reductionism (Au-delà du réductionnisme)*, un recueil d'essais rassemblés en 1969 par A. KOESTLER et J. SMYTHIES : il s'agit pourtant d'un des exposés les plus honnêtes, les plus complets et les plus nuancés des insuffisances théoriques et pratiques du réductionnisme érigé en doctrine. On observera plus loin, cf. chap. 2, p. 31, un comportement assez curieux de J. Monod *vis-à-vis* de cet ouvrage. Ignorait-il aussi la conclusion un peu antérieure d'A. REGNIER (1966, p. 142) : *On ne saurait prétendre refuser au nom de la logique le droit de s'exprimer à toute pensée qui ne satisfait pas aux canons de la rigueur analytique.*

martien que J. Monod appelait si malencontreusement au secours d'une si triste cause. Comment le réductionnisme peut-il à ce point hanter les consciences scientifiques occidentales [1] en imposant, par son autorité, celle de l'ancien *Discours de la méthode ?* L'interprétation du paradoxe nécessite sans doute d'autres méthodes que celles qu'il nous propose ! À commencer par une interprétation du « plus » et du « somme » sur *l'évidence* desquels le réductionnisme prétendait assimiler quand même le bon vieux précepte aristotélicien qu'il niait en pratique en permanence : « *le tout est plus que la somme des parties* ». Le grand biologiste P. A. Weiss (1971-1974) a proposé sur ce thème une méditation qu'il faut suggérer sans répit aux derniers réductionnistes : « un plus un n'est pas égal à deux » [2], avant de les inviter au contraire complémentaire : *Aujourd'hui... les objets à expliquer sont considérés comme les parties de plus grands touts, plutôt que comme des touts qu'il faut décomposer en parties.* R. L. Ackoff (1972, p. 40) introduisait par ce rappel ce qu'il allait reconnaître comme *un changement radical dans nos modes de pensée et dans nos façons de voir.* Nous l'avions ignoré lorsque Paul Valéry nous l'avait annoncé, méditant sur une *autre méthode* (dans son étonnante *Introduction à la méthode de Léonard de Vinci*) *: celui qui se représente un arbre est* forcé *de se représenter un ciel ou un fond pour l'y voir s'y tenir. Il y a une sorte de* logique *presque sensible et presque* inconnue [3]. Percevoir désormais l'objet à connaître comme une partie insérée, immergée, active, dans un plus grand tout (nous dirons bientôt : dans un *environnement*), et faire de l'intelligence de cet environnement la condition de notre connaissance de l'objet, telle est la teneur du nouveau précepte, celui que nous allons opposer au réductionnisme : on pourra le reconnaître sous le label du *globalisme* [4]. Nous verrons qu'il implique une hypothèse modélisatrice fondamentale, que ce livre entier ne suffira pas à épuiser

---

1. Parmi bien des témoignages, citons cette conclusion de P. DELATTRE (197I, p. 177), au terme d'un essai stimulant et loyal, au fil duquel les arguments réductionnistes se sont peu à peu effilochés : effrayé par sa propre audace, il se croit tenu d'ajouter : les *tentatives réductionnistes ont sans doute les meilleures chances de démontrer un jour leur bien-fondé.... Un* jour peut-être, mais certes pas aujourd'hui !

2. Voir aussi G. WEINBERG, 1975, p. 43.

3. *Introduction à la méthode de Léonard de Vinci,* 1894, p. 12, dans l'édition NRF, coll. « Idées ». C'est moi qui souligne, pour accuser la vigueur du propos... et son caractère prémonitoire !

4. Le mot est un peu lourd, mais rend bien compte de l'intention que J. de ROSNAY a heureusement définie par le sous-titre de son ouvrage populaire : *Le macroscope, vers une vision globale.* Je dirai ailleurs quelques réserves que je formule sur cette tentative qui manque par trop de rigueur intellectuelle et assimile involontairement systémisme et naïvisme ! Mais ces réserves ne concernent pas le projet lui-même (le globalisme), si elles soulignent que ce seul nouveau précepte ne suffit pas à fonder *le nouveau discours*. Les autres labels disponibles, d'origine anglo-saxonne, pour la plupart, ne sont en effet guère plus heureux : le *holisme* est chargé des péchés « l'antiréductionnisme », l'organicisme s'oppose plus au structuralisme qu'au réductionnisme. L. von Bertalanffy a proposé : *perspectivisme* ; R. L. Ackoff : *espansionnisme* ; et certains ont demandé à la théorie de la *Gestalt* un *gestalisme* qui recouvrait d'autres notions imbriquées.

celle de *l'ouverture* des systèmes par lesquels nous représentons les objets (alors que le réductionnisme imposait leur *fermeture*... naturellement sécurisante pour l'esprit !).

Sur le précepte causaliste

Le précepte *déterministe,* ou, plus exactement peut-être, *causaliste* semble *a priori* encore plus indéboulonnable : ne constitue-t-il pas l'un de ces quelques principes sur lesquels repose la pensée occidentale ? Un de ces principes *que précisément la pensée chinoise ne reconnaît pas : Le principe de causalité ? la pensée chinoise... décèle non pas des rapports abstraits de cause à effet, mais des solidarités concrètes de contrastes harmonisés* (A. Peyrefitte, 1973, p. 50). C'est bien plus sans doute à Kepler, à Galilée et à Newton qu'à Descartes que nous devons cette conviction intime que le monde est doté d'une structure, d'un ordre, et que cette structure incorpore des lois cause-effet invariantes. Mais le troisième précepte a érigé cette conviction en méthode d'investigation universelle : *En supposant même de l'ordre entre ceux qui ne se précèdent point naturellement !* Ainsi s'est développée une extraordinaire assimilation : être rationnel c'est, ou bien se comporter conformément à des lois déjà identifiées, ou bien faire l'hypothèse que des lois existent dans la nature et se donner pour raison de les identifier. Hors de là il n'est point de rationalité ; et quiconque émet l'hypothèse que de telles lois n'existent peut-être pas, que la graine ne saurait être la seule cause de l'arbre, est derechef proclamé irrationnel. Nous allons sans doute souffrir longtemps encore de cet impérialisme implicite du troisième précepte, et il sera difficile de nous convaincre qu'il est possible d'être parfaitement rationnel sans être astreint au seul modèle causaliste pour connaître le monde. Nous pourrons certes montrer que d'autres hypothèses (ni plus ni moins fondées) permettent une vision du monde tout aussi raisonnable ; nous pourrons certes montrer les horribles méfaits du modèle behavioriste *stimulus-réponse* (*i.e.* cause-effet) sur la connaissance de l'homme pensant depuis soixante ans [1].

---

1. Il faut relire le procès passionné qu'a fait A. KOESTLER de cette dictature du « modèle SR » sur la pensée psychologique contemporaine, in *Le cheval dans la locomotive* (1967-1968), Ire partie. Ou encore, L. von BERTALANFFY dans un essai trop peu connu : *Robot, Men and Minds* (1967) (p. 6 à 22 en particulier). Je relis le manuscrit final de ce livre au moment où *Le Monde* (20 juillet 1976, p. 16) rend compte du discours du Pr Paul Fraisse au Congrès international de Psychologie de Paris : *Orienter la psychologie cers la science de la psyché plutôt que vers la recherche de lois directes stimulation-réponse aura des conséquences considérables dont nous prenons déjà conscience, car la mutation que je souhaite est commencée...* En 1976 ! Pourquoi, au nom de la rationalité, avoir tant attendu ! Faut-il rappeler que, *dés 1912, les psychologues de la théorie de la* Gestalt *(Wertheimer) avaient déjà montré qu'une combinaison, dans le temps et dans l'espace, de stimulus divers*

Nous pourrons montrer l'irréalisme patent de nos raisonnements, « toutes choses égales par ailleurs », alors que toutes nos expériences nous apprennent que *rien n'est égal par ailleurs* (M. Godet et J.-C. Duperrin, 1974, p. 508) et que nous observons tous les jours que les mêmes causes n'entraînent pas toujours les mêmes effets (la graine n'entraîne pas toujours l'arbre, fût-ce en probabilité, pas plus qu'une politique de restriction du crédit n'entraîne une régression de l'inflation !) [1]. Nous pourrons montrer l'illusion de ces décisions prises, *en toute connaissance des causes,* alors que nous les espérions *en toute connaissance des conséquences.* Cette démonstration nous servira pourtant incidemment, car elle incitera les gardiens du Temple de la seule rationalité déterministe et cartésienne à nous opposer : conséquences ? *Mais conséquences pour qui, par rapport à quoi ? C'est* le terrain où nous souhaitons précisément les conduire, car s'ils font leur, fût-ce un instant, l'objection, le ver sera dans le fruit et la dictature du causalisme sévèrement ébranlée : *Ma pensée,* disait Descartes, *n'attribue aucune nécessité aux choses.* La contradiction, dès lors, leur deviendra insupportable, au risque, il est vrai, de les voir se refermer sur ce *postulat d'objectivité* qui serait selon eux *consubstantiel à la Science* (J. Monod, 1971, p. 32 ; cf. chap. 2).

L'expérience est curieuse, mais cent fois faite : on ne convainc pas un causaliste, même convaincu de la relativité et de la contingence du précepte causaliste, par des arguments rationnels, ni même par des arguments d'efficacité. On a peut-être plus de chance en essayant les oracles : R. Boudon (1968, p. 30), en proclamant : *l'épistémologie causaliste est morte,* était peut-être plus efficace que F. Betz et I. Mitroff (1974) (deux disciples de C. W. Churchman et R. L. Ackoff), montrant qu'il est quatre correspondances possibles entre les occurrences de deux ensembles d'événements *(A)* et *(B)* et non pas une seule. L'occurrence de *B* peut en effet être rationnellement identifiable et interprétable, selon que l'occurrence de À lui est, ou ne lui est pas nécessaire, et lui est, ou ne lui est pas suffisante. La première correspondance *(A),* condition nécessaire et suffisante de *(B),* est causale ; les trois autres ne le sont pas. Sont-elles pour autant dénuées de raison et indignes d'une connaissance rationnelle ?

---

conduisait à des expériences dont les résultats ne pouvaient être prédits à partir de la connaissance de chaque stimuli ? (F. K. BERRIEN, 1968, p. 62).

1. Le pragmatisme anglo-saxon a depuis longtemps dénoncé la *single cause habit :* l'habitude de la cause unique (Cf. p. ex. SELLER, 1967, p. 3) ; de même, la thèse de la dialectique producteur-produit, formulée par le philosophe américain E. Singer, sur laquelle C. W. CHURCHMAN (1971, p. 45) et R. L. ACKOFF (1974, p. 16) baseront leur *contribution à* la systémique, constitue une pièce maîtresse de cette remise en question (cf. la très *bonne* thèse de BETZ et MITROFF, 1974). K. de GREENE (1973, p. 93) ira jusqu'à dire que la *relation cause-effet est essentiellement un non-sens.*

On voudrait, pour convaincre quand même, inviter les causalistes à prendre davantage conscience des contraintes que font peser sur la raison l'hypothèse de la *linéarité (ces longues chaînes de raisons toutes simples)* [1], ou celle du *one best way.* Sur cette dernière, citons un commentaire décisif de M. Crozier (*in* Balle-Peaucelle, 1972, p. 164) : *Malgré nos dénégations, nous vivons toujours selon le principe du « one best way », c'est-à-dire selon l'illusion qu'on peut séparer les moyens et les fins et que les techniciens peuvent déterminer le seul meilleur moyen une fois qu'une fin a été clairement fixée... En fait, ce raisonnement qui a permis de grands progrès est un raisonnement pauvre, qui devient de plus en plus paralysant, non parce qu'il est inhumain, mais parce qu'il ne rend compte que d'une partie de la réalité... À côté de la démarche décomposante et hiérarchique impliquant une causalité simple, (on peut...) développer une démarche totalisante prenant en compte les ensembles* « *fins/moyens* » [2].

Car enfin, n'est-ce pas là l'enjeu, celui de la rationalité, et non celui du seul causalisme : La rationalité, après tout, doit traiter des moyens et des fins et de leurs relations. Elle ne dit pas quelles sont les fins. Elle essaye seulement de nous rendre conscients de la compatibilité ou de la disparité entre fins et moyens (K. Arrow, 1974-1976, p. 12). Et si elle ne nous dit pas quelles sont les fins, elle nous fait obligation de formuler quelques hypothèses sur ce qu'elles pourraient être, ou devenir. Elle ne nous impose en rien d'inscrire nécessairement ces hypothèses sur les fins dans le passé, dans la structure de l'objet ou du phénomène considéré.

L'hypothèse d'une relation cause-effet à découvrir n'est pas une hypothèse indispensable pour l'exercice de l'intelligence connaissante : tout au plus, une hypothèse parfois utile, et on peut présumer que nous avons épuisé la plupart des situations où elle pouvait servir. Nous ne cesserons pas d'être rationnels parce que nous considérerons d'autres hypothèses sur les fins, non plus toujours *câblées* dans la structure, mais peut-être programmées et multiples dans quelques mémoires, voire programmables et même inventables, par le recours à quelque forme d'imagination. À « l'explication cause-effet », l'intelligence substitue alors, par une féconde généralisation, « l'interprétation (ou la compréhension) comportement-finalité ». Au précepte causaliste, nous venons de substituer le précepte

---

1. Cf. p. ex. l'excellente discussion de la linéarité proposée par L. SFEZ dans sa *Critique de la décision* (1973). On discutera plus volontiers l'imprécision du concept de « multirationalité » sur lequel il étaye un autre volet de sa magistrale critique.

2. M. CROZIER ajoute alors, anticipant un peu sur notre propos : « *La notion de Système devient la notion clé de ce nouveau mode de raisonnement, qui peut être à la source d'un renouvellement total de la pensée.* »

téléologique, celui qui fait d'une réflexion sur les finalités [1] de l'objet à connaître une des clés d'entrée du dispositif de l'intelligence rationnelle.

Rationalité : causalité et symbolique

Et de même que le deuxième et le troisième précepte de l'ancien discours s'imbriquaient en profondeur (le réductionnisme impliquant en quelque sorte le causalisme et réciproquement), ceux du nouveau discours se rejoignent quasi logiquement, l'ouverture sur l'environnement engendrant l'ouverture sur le champ des finalités et réciproquement [2]. Alors que le causalisme s'exprimait par des lois, la téléologie s'exprimera par des signes, faisant de l'aptitude à la manipulation de symboles *(l'homme, animal symbolique)* [3] la caractéristique centrale de l'exercice de la rationalité ; la « loi » étant bien sûr un symbole de référence parmi d'autres possibles : le nouveau discours englobe l'ancien sans renier autre chose que sa prétention à l'universalité et au monopole de la rationalité.

De l'analyse, nous pourrons passer à la conception (*cette catégorie de comportement que l'on appelle téléologique,* C. Churchman, 1971, p. 5). De la modélisation du contrôle structurel, cybernétique, nous pourrons passer à celle de la décision finalisée et anticipatrice (cf. Mesarovic, 1968, p. 68 et 1975, p. XI). De l'explication toujours inachevée et peut-être impossible (« dis-moi quelles sont les lois intrinsèques qui gouvernent ton comportement », mais que dire si de telles lois n'existent pas ?), nous pourrons passer à

---

1. Les synonymes *a priori* sont nombreux, chacun apportera sa nuance ou sa précision : but, objectifs, projets, intention... Nous n'en rejetons aucun *a priori, à* ce stade du discours.

2. R. THOM, in *ENSTA*, 1975, p. 20, le perçoit et l'éclaire fort justement, sans dissimuler les difficultés de ce passage du *fermé à l'ouvert.*

3. L. VON BERTALANFFY (1967, p. 22) développe très richement ce thème qu'il emprunte au philosophe E. CASSIRER (1953). Le Pr P. FRAISSE, dans le texte déjà cité (cf. n. 1, p. 16), centrera sa réflexion sous ce même titre : *Parler de l'homme comme d'un animal symbolique, c'est souligner qu'il y a en lui un système fonctionnel supplémentaire qui explique la possibilité de construire son propre univers.* Construire son propre univers, c'est construire l'univers de la connaissance (cf. chap. 3 : Les systèmes de représentation). L'essai récent que J. ATTALI a publié sous le titre *La parole et l'outil* (1975) rend richement compte — avec parfois plus d'imagination que de rigueur intellectuelle — de cette émergence de l'information symbole (le *champ du signe,* selon J. Attali), la parole, la relation finalisée, dépassant le règne de l'outil asservi à ses lois mécaniques.

l'interprétation relative et contingente (« dis-moi quels sont les projets extrinsèques [1] auxquels tu réfères ton comportement » ?).

> Ainsi l'exil rigoureux auquel est condamné le mot « but » dans la science contemporaine. Il s'agit sans doute des séquelles de la réaction contre l'animisme de la physique d'Aristote, dans laquelle les pierres accéléraient leur chute par hâte de rentrer chez elles... À partir de Galilée, les « causes finales » ou la « finalité » furent reléguées au royaume de la superstition et la causalité mécanique régna souverainement...
>
> Cependant, si la causalité défaille, si les événements ne sont plus rigoureusement gouvernés par les poussées et les pressions du passé, ne peuvent-ils être influences en quelque manière par la « traction » de l'avenir, ce qui est une façon de dire que le « but » pourrait être un facteur physique concret de l'évolution de l'univers ?
>
> C'est faire preuve de bien peu d'imagination que de croire que le concept de « but » doive être forcément associé à quelque déité anthropomorphe.
>
> (A. KOESTLER, 1959-1960, *Les somnambules*, p. 644.)

De telles démarches, de telles questions ne sont-elles pas raisonnables (ou rationnelles) ? Pourquoi donc les bannir au nom d'un dogme contingent... surtout si elles s'avèrent effectives dans l'exercice de notre intelligence.

Sur le précepte d'exhaustivité

Le dernier précepte de l'ancien discours, celui de *l'exhaustivité*, est aisé à récuser. Il est si quotidiennement bafoué sans vergogne par chacun, cartésien ou non, que ses défenseurs résisteront peu devant l'argument des faits : il est... en pratique... impraticable ! Qui pourra jamais être assuré qu'il a *fait un dénombrement si entier qu'il soit assuré de ne rien omettre.* Et si on n'en est pas assuré, peut-on loyalement référer le comportement de son intelligence au discours cartésien ? Car les quatre préceptes sont solidaires. Ne pas respecter une des règles du jeu, n'est-ce pas tricher ?

Les cartésiens s'étaient tirés de cette difficulté en inversant la proposition : substituer à la connaissance de l'objet, en tant que tel, celle des parties dénombrées de cet objet. Est-il surprenant que ce

1. J'emprunte cette dualité intrinsèque-extrinsèque à une très remarquable étude du biologiste T. H. WATERMAN, *in* M. MESAROVIC, 1968, p. 5 ([b]).

mode de connaissance se soit avéré si insuffisant ? Un « cri du cœur « d'un des derniers grands cartésiens, aux contributions duquel nous ferons plus d'une fois appel, Th. Vogel (1973, p. 8), révèle pourtant l'intolérance intellectuelle provoquée par la référence à ce précepte : *Si nous définissons un triangle et que nous en étudions les propriétés, nous n'admettons pas que l'on puisse dire à un moment donné : « attention, ce triangle est rouge, ou bien découpé dans du métal ».* Ce « nous n'admettons pas » ne nous devient-il pas... intolérable ? Faut-il vraiment, au nom de la raison, refuser de recueillir une observation... sous prétexte qu'il est trop tard et que nous avons commencé à raisonner sur un ensemble qui se devait d'être exhaustif ?

Observons incidemment qu'au nom de ce précepte quelques milliers d'informaticiens ont dramatiquement régidifié les rapports sociaux... sous prétexte qu'on ne pouvait pas prendre en compte de nouvelles données « sans réécrire tous les programmes ». Il aura fallu plus de dix ans pour les convaincre qu'il était possible de concevoir des programmes qui... comme nos raisonnements, s'adaptent à des situations changeantes ! Je ne suis pas sûr qu'ils aient encore tous accepté, dans leur for intérieur, de changer de discours de la méthode !

Il est vrai que par ses prouesses validées, par l'amplification des capacités cognitives de mémorisation et de logique qu'elle permet, l'informatique a, un instant, rendu crédible parce que praticable, le défi du précepte d'exhaustivité à notre intelligence. Quiconque a travaillé avec succès sur des modèles socioéconomiques de plus de trois mille relations connectant quelque vingt mille variables, ne pouvait s'interdire d'espérer. L'enjeu n'était-il pas à portée de main ? Il est difficile aujourd'hui de déchanter, à l'instant où l'on allait enfin convaincre les politiques de l'opportunité du pari. Et pourtant, il le faut. Le passage de la *complication* à la *complexité* implique un seuil, un changement de méthode intellectuelle. Les objets que nous devons aujourd'hui nous représenter, si nous voulons loyalement y intervenir, ne sont plus seulement tissés d'écheveaux compliqués connectant des éléments identifiables, aux comportements dénombrables et peu nombreux. La différenciation et le droit à la différence appartiennent aussi au monde réel et la *variété* des objets à connaître nous devient incommensurable. Que l'on s'y résigne, en regrettant le bon vieux temps où le discours cartésien s'adaptait à nos modes de connaissance, ou que l'on s'en félicite, aspirant à un monde où nos cultures ne seront plus uniformisantes, le réductionnisme analytique connaît des limites aussi inéluctables que celles, déclarées, du globalisme nous ne pouvons plus convenir que nous serons à même « *de faire partout des dénombrements si entiers et des revues si générales que nous soyons assurés de ne rien omettre* ».

Mieux vaut en convenir et nous proposer délibérément d'omettre beaucoup de choses en les enfonçant dans l'ombre des agrégats. Des agrégats que, bien sûr, nous sélectionnerons nous-mêmes, explicitement, publiquement. Nous ne prétendrons plus, dès lors, « tout » expliquer de l'objet considéré (avec quelques risques

d'échouer dans l'entreprise !), mais, plus modestement, interpréter ce à quoi nous nous intéressons, sans nous assurer de la totalité de cette interprétation.

Une telle modestie serait-elle déraisonnable ou irrationnelle ? Elle ne masque pas u la « difficulté, celle de toute représentation *définir un élément* (cf. P. Delattre, 1974, p. 17) ; nous dirons plutôt définir un *agrégat* (cf. L. Zadeh, 1969, p. 24), ces ensembles au sein desquels nous nous résignons à (... ou nous nous réjouissons de) ne pas tout dénombrer, et que nous ne connaîtrons que par quelques étiquettes qui nous diront leur position relative dans leur environnement (leur *état* extérieur).

Un des projets décisifs de la Théorie du Système Général sera précisément de proposer au modélisateur une démarche cohérente pour l'aider à concevoir une agrégation judicieuse pour son propre projet. Ainsi, au précepte d'exhaustivité, nous opposerons un précepte *d'agrégativité* [1] par lequel se complétera le nouveau discours de la méthode !

Les quatre préceptes du nouveau discours de la méthode

Car il semble bien que, dans leur intrication, les quatre nouveaux préceptes constituent un discours aussi cohérent que les quatre anciens identifiés par Descartes : ce n'est pas un des moindres mérites du maître que d'avoir eu l'intuition de cette extraordinaire simplification, *au lieu de ce grand nombre de préceptes dont la logique est composée.* Quatre préceptes, quatre seulement (que l'on pourrait même *réduire* à trois en perdant l'extraordinaire bénéfice d'une redondance réfléchie ; cf. chap. 10, p. 183).

En méditant sur les trois siècles d'expériences que vient de pratiquer la culture occidentale, nous avons perçu les faiblesses de ce discours de circonstances... L'examen critique de chacun de ces quatre préceptes anciens nous a livré son contraire complémentaire, élaboré par une civilisation qui se perçoit en mutation. Ces quatre nouveaux préceptes que l'on a tenté de formuler sous une forme condensée, dans l'encart ci-dessous, nous disent l'essentiel de la teneur du nouveau discours de la méthode, auquel se réfère — ou peut se référer — l'intelligence contemporaine. Il nous reste à dégager le nouveau paradigme qui archétypera ce nouveau discours : nous reconnaîtrons le *paradigme systémique ;* puis à déployer, sur ce paradigme, une théorie de la modélisation, *la Théorie du Système Général,* qui

1. J'emprunte ce concept d'agrégat à L. ZADEH (1969). Il gênera peut-être les économistes accoutumés à une définition plus restrictive (disons : plus additive) de l'agrégat.

assistera l'exercice quotidien de notre intelligence modélisatrice (qu'on la qualifie de démarche systémique, d'analyse de système ou de systémographie). Tel est le projet de ce livre.

LES QUATRE PRECEPTES
DU NOUVEAU DISCOURS DE LA METHODE

Le précepte de pertinence : Convenir que tout objet que nous considérerons se définit par rapport aux intentions implicites ou explicites du modélisateur. Ne jamais s'interdire de mettre en doute cette définition si, nos intentions se modifiant, la perception que nous avions de cet objet se modifie.

Le précepte du globalisme : Considérer toujours l'objet à connaître par notre intelligence comme une partie immergée et active au sein d'un plus grand tout. Le percevoir d'abord globalement, dans sa relation fonctionnelle avec son environnement sans se soucier outre mesure d'établir une image fidèle de sa structure interne, dont l'existence et l'unicité ne seront jamais tenues pour acquises.

Le précepte téléologique : Interpréter l'objet non pas en lui-même, mais par son comportement, sans chercher à expliquer a priori ce comportement par quelque loi impliquée dans une éventuelle structure. Comprendre en revanche ce comportement et les ressources qu'il mobilise par rapport aux projets que, librement, le modélisateur attribue à l'objet. Tenir l'identification de ces hypothétiques projets pour un acte rationnel de l'intelligence et convenir que leur démonstration sera bien rarement possible.

Le précepte de l'agrégativité : Convenir que toute représentation est partisane, non pas par oubli du modélisateur, mais délibérément. Chercher en conséquence quelques recettes susceptibles de guider la sélection d'agrégats tenus pour pertinents et exclure l'illusoire objectivité d'un recensement exhaustif des éléments à considérer.

*
* *

▶ Relecture *

Cette réflexion préliminaire sur *la* méthode selon René Descartes, pour introduire une présentation *des* méthodes de modélisation systémique devait, par probité vis-à-vis du lecteur, être maintenue dans sa forme initiale, malgré les adjurations de quelques philosophes amis et les invectives de quelques autorités qui en appellent à la mise à l'index !

J'ai en effet été surpris des interpellations passionnées qu'a plus d'une fois provoquées ce premier chapitre : en le rédigeant, en 1975-1976 [1], je ne me percevais pas comme un provocateur anarchiste et j'ai même craint de paraître enfoncer une épée dans l'eau, tant d'éminents scientifiques avaient développé les mêmes arguments avant moi ! C'était mal évaluer la prégnance culturelle du discours cartésien : entre *La Logique de Port-Royal* (1683) et le *Cours de Philosophie positive* d'Auguste Comte (1842), ce discours s'est institué en texte sacré : si la Parole est reconnue vieillissante, tout le système qui se fonde sur elle va s'effondrer : perspective inadmissible [2] ! Si bien que cette lecture à voix haute d'une page (centrale, j'en conviens) du *Discours* de René Descartes m'a valu quelques inimitiés... fort peu rationnelles ! Le nouveau lecteur ne comprendrait pas que je tente de les atténuer au prix de concessions qui affecteraient la reconnaissance du caractère nécessairement idéologique de toute entreprise de modélisation [3]. En revanche, les commentaires critiques des spécialistes de l'œuvre multiple de René Descartes mériteraient un examen d'autant plus circonstancié que nombre de ces critiques se présentent en des termes fort coopératifs. On m'accordera que le propos ici n'était pas l'exégèse de l'œuvre de R. Descartes, mais l'examen de la pertinence, pour le modélisateur contemporain, de l'axiomatique de la modélisation qu'il proposa il y a plus de trois siècles. Un corps d'axiome n'est ni vrai, ni faux. Nous

---

* À la fin de chaque chapitre, sous ce titre *Relecture*, sont présentés des développements et compléments assurant la mise à jour de cette deuxième édition.

1. Un article publié en octobre 1976 sous le titre L'analyse de système : nouveau discours de la méthode (dans la revue *France-Forum*, n° 150, numéro spécial sur la théorie des systèmes réalisé par Joseph FONTANET) développait sensiblement la même argumentation, sans susciter alors beaucoup de polémiques.

2. Le Pr Robert FAURE, « *réagissant vivement, non pas en tant que cartésien attardé, mais plutôt en qualité de défenseur conséquent de la raison humaine* », écrivait à propos de ce chapitre I en 1978 : « *Quand on déchaîne l'assaut contre quelques-uns des fondements de la logique cartésienne, c'est-à-dire* Le Discours de la Méthode, *je suis fondé à constater qu'en fait, consciemment ou inconsciemment, on livre bataille à la raison* » (dans Edith HEURGON, *Colloque de Cerisy*, 1979, p. 44). Cette imagerie guerrière révèle le caractère étonnamment passionnel des réactions suscitées parfois par cette relecture du *Discours* !

3. Idéologie qui choquait tellement le traducteur de *La Théorie du Système Général, théorie de la modélisation* dans une langue étrangère que celui-ci, devant mon refus « d'adoucir » la forme de ce chapitre, préféra faire résilier le contrat de traduction alors qu'il avait déjà avancé son travail !

importe seulement qu'il ne soit pas totalitaire : on voulait seulement mettre en valeur le fait qu'il est possible de lui proposer des concurrents. La parution, à partir de 1977, des tomes successifs de *La Méthode* d'Edgar Morin constitue désormais la démonstration expérimentale de cette hypothèse initiale ! Les termes par lesquels E. Morin présente son projet peuvent ici être rappelés, puisqu'ils constituent à la fois un exergue pour une réintroduction du chapitre I et une ouverture à l'introduction du chapitre 2 :

« *À la différence d'un Descartes qui partait d'un principe simple de vérité, c'est-à-dire identifiant la vérité aux idées claires et distinctes, et, par là, pouvait proposer un discours de la méthode de quelques pages, je fais un très long discours à la recherche d'une méthode qui ne se révèle par aucune évidence première et doit s'élaborer dans l'effort et le risque. La mission de cette méthode... est d'inviter à penser soi-même dans la complexité* » (Edgar Morin, 1982, p. 274).

Notes complémentaires pour la deuxième édition

([a]) K. POPPER rappelle par exemple cette formule d'ARISTOTE, reprenant Platon : « Il est *évident* (je souligne) qu'il y a par nature des gens qui sont les uns libres, les autres esclaves et que pour ceux-ci la condition servile est à la fois avantageuse et juste... » (dans *La Politique*, § 1254 b, cf. le tome II de *La Société ouverte et ses ennemis.*

([b]) On ne peut ici que provoquer la réflexion sur l'axiome de causalité en référence à la Méthode. Il faudrait tant d'autres commentaires pour le discuter dans ses références idéologiques ou métaphysiques, le rôle central proposé par Kant au critère de causalité comme critère de distinction entre l'objet et le sujet nous servirait alors de solide base de départ.

CHAPITRE 2

		A	S	E
3	**F**	4	7	10
2	**O**	5	8	11
1	**G**	6	9	12

le paradigme systémique :

concevoir l'objet système général

1. À chaque discours, son paradigme

La succession des discours de la méthode qu'écrit l'histoire de la pensée humaine engendre une succession parallèle de *résolutions scientifiques.* Le philosophe T. S. Kuhn (1963, trad. franç., 1972), dans un essai souvent cité, a proposé de typifier chacune de ces révolutions par son *paradigme,* autrement dit par le schéma global des quelques hypothèses de base sur lesquelles chaque époque scientifique repère ses directions privilégiées d'investigation : l'émergence d'un nouveau paradigme — symbolisé souvent par le nom du théoricien auquel l'histoire attribue la paternité d'une nouvelle conception de l'univers et de la connaissance [1] — jalonne d'une nouvelle borne l'histoire de l'intelligence et transforme, souvent en profondeur, la conception de l'univers que se forge chaque être humain. Ainsi se forgent nos cultures par l'intrication de paradigmes se différenciant plus par mutation que par harmonieuse progression.

Si aujourd'hui nous diagnostiquons une telle rupture dans l'ordre de la *méthode,* il nous importe de l'interpréter dans sa genèse : le

---

1. A. Koestler, dans un essai passionnant, présente ces théoriciens comme les grands somnambules de l'humanité : *mélange d'inspiration et d'illusion, de prophétique clairvoyance et d'aveuglement dogmatique, d'obsession millénaire et de dédoublement de la pensée* (A. KOESTLER, 1958, trad. franç., 1960). Les philosophes ioniens, Aristote, Platon, Copernic, Kepler, Galilée, Newton, lui fourniront des exemples de ces catastrophes culturelles rompant, souvent brutalement, les longues stabilités de la pensée humaine. Créateurs qui furent les initiateurs de nouveaux paradigmes : héraclitéens, aristotéliciens, képlériens, newtoniens...

passage du paradigme cartésien au paradigme systémique, que l'on a tacitement argumenté au chapitre précédent, se déploie dans une histoire proche et familière pour la culture occidentale. Si familière que l'on est tenté parfois de le considérer comme un développement sans rupture — une théorie de plus, et quelques néologismes qui vieilliront vite — dans une conjonction après tout permanente d'événements intellectuels. Pour résister à cette tentation sécurisante, il est peut-être utile d'explorer succinctement cette histoire familière en tentant d'identifier les principaux paradigmes épistémologiques dont l'enchaînement nous conduit, par une nouvelle révolution scientifique, à une révolution culturelle dont l'enjeu, souvent, impressionne les plus audacieux.

PARADIGME, THEORIE ET MODELE

« Il y a des différences subtiles mais importantes entre les mots « paradigmes », « théorie » et « modèle ». « Paradigme » nous réfère à un ensemble d'hypothèses fondamentales et critiques sur la base desquelles théories et modèles peuvent se développer. Théories et modèles sont plus complètement spécifiés... »

(J. D. STEINBRUNER, 1974, p. 11.)

Le paradigme de la mécanique rationnelle

La construction intellectuelle qui incarne le plus fidèlement le discours cartésien est, sans conteste, le *paradigme de la mécanique rationnelle : il* a atteint, à la fin du XIXe siècle, un *caractère si achevé que Lord Kelvin croyait devoir déplorer que les jeunes scientifiques n'aient plus rien d'intéressant à trouver* (Th. Vogel, 1973, p. 35). Pour lui, tout objet est susceptible d'être *expliqué,* plutôt que décrit. Dette explication se fondera sur l'identification de la structure de l'objet, dont il est certain qu'elle existe, et qu'elle est unique et invariante. *(On supposera même de l'ordre entre les éléments qui ne se précèdent point naturellement !) Nous posons en axiome que la structure d'un objet détermine ses fonctions... sans structure, la fonction est impossible* (F. K. Berrien, 1968, p. 15). La structure seule est explicative, seule elle est permanente, sur elle seule se fonde *l'évidence* cachée de l'objet. Un objet qu'il importe d'isoler suffisamment de ses contextes souvent changeants, ne serait-ce que pour que l'on puisse *le reproduire toutes choses égales par ailleurs.* La structure est la cause, la condition nécessaire et suffisante de l'effet, et donc de la fonction assurée par l'objet. La connaissance de l'objet ne saurait se satisfaire de la description superficielle de cette

fonction : mieux vaut lui substituer l'analyse de sa structure. Si vous *ne comprenez pas une fonction, étudiez une structure* [1].

La fécondité exceptionnelle de ce paradigme — que symbolise la figure 2.1 — depuis trois siècles est telle qu'il semble encore souvent, sinon le seul, au moins l'idéal, le canon de toute qualité scientifique et donc intellectuelle ; il incarne la perfection dans l'ordre de la connaissance... en Occident, et au XXe siècle ! Il semble même monopoliser les critères de rigueur et de probité intellectuelle par la subtile confusion qu'il implique entre la rationalité de l'homme pensant et *la compréhension de cette rationalité comme une explication par des causes mécaniques* [2]. Ainsi s'explique peut-être le surprenant monopole que s'attribuèrent les mécaniciens en faisant longtemps légitimer l'expression « mécanique rationnelle ». (La désignation — beaucoup plus correcte — « mécanique classique » est récente et pas toujours admise.)

On y perçoit même parfois un regret nostalgique. Si le premier livre de la Genèse s'était ouvert par la phrase : « Au commencement Dieu créa deux axes de coordonnées (cartésiennes), *ox* et *oy*... » (n'en avait-il pas besoin pour structurer son épure ?), ne disposerait-on pas de la preuve qui vaincrait les derniers *mécaniciens irrationnels ?*

Le paradigme de la mécanique statistique

Avant même qu'il n'atteigne son apogée, le paradigme de la mécanique rationnelle allait connaître au cours du XIXe siècle un premier défi : on ne caricature pas trop l'histoire de la pensée en identifiant le challenger par le label du paradigme de la *mécanique statistique :* la formule est due, semble-t-il, à L. Boltzmann qui sut percevoir l'originalité profonde des questions que posait la thermodynamique encore naissante : non plus l'examen de la *cinématique* — réversible et quasi horlogère — d'une structure présumée donnée, mais l'anticipation de la *cinétique puis* de la *dynamique* rendant compte des transformations irréversibles de cette structure au fil du temps.

« *La pensée scientifique du dix-neuvième siècle marque ainsi une réaction contre le point de vue qui voulait qu'en science les découvertes soient faites par des dissections microscopiques des objets. Elle introduit une alternative dans laquelle le centre d'intérêt passe des entités établies par l'analyse classique, aux qualités*

---

1. Proposition célèbre de Francis CRICK rappelée par A. BUSSARD, in *La recherche,* n° 31, févr. 1973 : « L'origine cellulaire des anticorps « ,. p. 124. L'auteur précise qu'en immunologie cette proposition lui semble aujourd'hui *inopérante.*

2. La citation est empruntée à Madeleine BARTHELEMY, dans une introduction (« La doctrine de Descartes ») au *Discours de la méthode,* Paris, Ed. de Cluny, 1943, p. 48. La commentatrice encourage d'ailleurs à cette confusion en fondant le *principe d'un monde rationnel* sur cette compréhension mécaniste.

possédées par le système considéré comme un tout qui ne peut pas être décomposé... » (Eddington, 1958. Cité par L. von Bertalanffy in A. Koestler et J. Smythies, 1969, p. 75.)

Ce passage du microscope au *macroscope* (cf. J. de Rosnay, 1975) pour connaître ou reconnaître les objets allait impliquer un changement drastique de perspective, et presque de priorité. Le fonctionnement, l'activité de l'objet deviennent contingents... Pour les mieux ignorer, on postulera même très explicitement la fermeture du système représentant l'objet. Dans un environnement vide, peut-on fonctionner ? (Les thermodynamiciens furent même, semble-t-il, les premiers à forger le concept de *système fermé.*) En revanche, l'évolution, la séquence des transformations internes de l'objet deviennent essentielles. On se libère de l'hypothèse contraignante de l'invariance de la structure en s'imposant peut-être celle de la neutralité (statistique) de l'activité par rapport à l'histoire de l'objet modélisé. A la dialectique structure-fonction du paradigme de la mécanique rationnelle, le paradigme de la mécanique statistique [1] substitue la dialectique structure-évolution (Cf. fig. 2.2). La cohabitation de ces deux paradigmes dans une profonde indépendance mutuelle se poursuivrait peut-être encore, séparant en deux castes — la grande et la petite — les physiciens et les mathématiciens et les ingénieurs qui les accompagnent, si les biologistes puis les chercheurs des sciences de l'homme n'avaient pris conscience de l'insupportable écartèlement intellectuel auquel les acculait cette dichotomie [2].

---

1. Paradigme que l'on pourrait tout aussi bien baptiser : Le *paradigme évolutionniste.* La théorie de l'évolution des espèces est de peu antérieure à celle de la thermodynamique, mais il fallut pratiquement attendre les années 1940 (I. Prigogine, E. Schrödinger, L. von Bertalanffy) pour que la rencontre des deux théories, celle des biologistes et celle des physiciens, s'amorce.

2. Parmi eux, ne faut-il pas citer Michel Serre... bien que son intervention soit historiquement fort postérieure, post-structuraliste pourrait-on dire ? *Michel Serre est le messager alchimiste d'une révolution dans la conception du monde... Formidable ébranlement qui, parti de Carnot (la théorie des machines à feu et le second principe de la thermodynamique), passe par Clausius et Boltzmann... Serre est le premier penseur qui ait tiré les conséquences épistémologiques de ce qu'on peut et doit appeler la « révolution carnotienne »* (J. GRINEWALD). *Bachelard lui-même a ignoré cette révolution ; les sciences de l'homme ont ignoré cette révolution... Or la thermodynamique concerne la machine vivante, machine humide et visqueuse qui s'auto-entretient et s'autoconsume en permanence, elle concerne la machine sociale...* L'avis est d'un orfèvre peu contesté, Edgar MORIN (in *Le Nouvel Observateur,* 9 février 1976). *Complément 1983.* — On ne disposait que de quelques textes épars d'E. MORIN en 1976, lors de la rédaction de ce chapitre. Avec la parution de *La Méthode* (1977, 1980...) on dispose désormais d'abondantes références qui étayent et développent l'argument : la modélisation peut et doit aujourd'hui rendre compte de la capacité d'un système à s'autonomiser dans son évolution tout en risquant l'uniformisation au sein de son substrat : auto-entretien, auto-consomption...

La première épistémologie non cartésienne

Il semble en effet que les physiciens et les chercheurs en *sciences exactes* n'aient pas voulu entendre les objurgations et les arguments de G. Bachelard les appelant dès 1934 à une *épistémologie non cartésienne. Les coups de génie* qui venaient de *fonder la mécanique ondulatoire* (L. de Broglie) *et la mécanique des matrices* (Heiseinberg) rejetaient *au passé les mécaniques classiques...* (p. 180). En convenir, c'était il est vrai remettre en cause les préceptes de l'évidence et du réductionnisme, ce que G. Bachelard, avec audace, faisait volontiers (que l'on relise sa méditation sur l'évidence d'un morceau de cire pour Descartes, p. 171), et plus confusément les préceptes de causalité *(on arrive à penser à une sorte de construction en projets, de réels en plans...)* (p. 162) et d'exhaustivité *(c'est ce que souligne M. Louis de Broglie : « Au début du développement de la science moderne, Descartes disait qu'on devait s'efforcer d'expliquer les phénomènes naturels par figures et par mouvements. Les relations d'incertitudes expriment précisément qu'une telle description en toute rigueur est impossible puisqu'on ne peut jamais connaître à la fois la figure et le mouvement. » Ainsi les relations d'incertitude doivent être interprétées comme des obstacles à l'analyse absolue)* (p. 142). Ces remises en cause étaient sans doute trop inconfortables pour être acceptées par les physiciens qui préférèrent laisser éclater en quatre systèmes théoriques mutuellement irréductibles [1] notre connaissance de l'univers inanimé plutôt que de reconsidérer leur épistémologie de base (on dirait aujourd'hui leur *problématique*).

Le paradigme structuraliste

Dans l'histoire de la pensée occidentale la résurgence du *paradigme dialectique* au cours de ce même XIX[e] siècle ne pouvait pas ignorer cette tension entre les deux mécaniques : structure-fonction et structure-évolution. La recherche d'un paradigme

---

1. POLYKAROV, in *Problèmes philosophiques des théories physiques modernes,* cité par Y. BAREL (1970, p. 111) propose le découpage suivant, assez généralement accepté : La mécanique rationnelle, la mécanique (ou la physique) statistique (ou la thermodynamique), la théorie des champs et la physique quantique. Cette pulvérisation en sous-paradigmes indépendants décourageait légitimement les sciences de la vie et les sciences de l'homme, qui durent alors se résigner à abandonner le sécurisant paradigme mécaniste et à explorer, loin des intolérances des physiciens et des expérimentalistes, des voies nouvelles de connaissance ([a]).

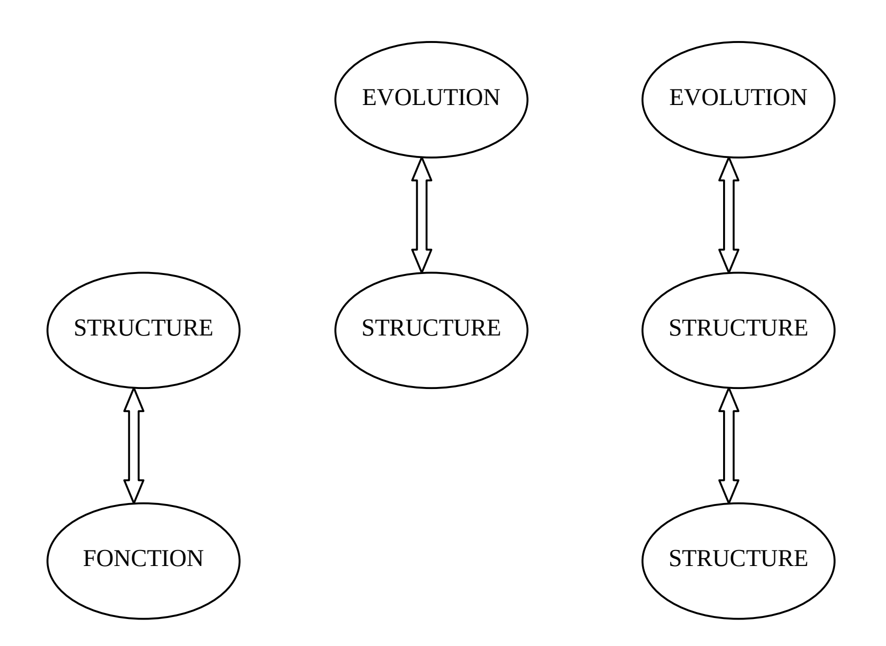


FIG. 2.1
Le paradigme
de la mécanique classique
(ou paradigme cartésien)

FIG. 2.2
Le paradigme
de la mécanique statistique
(ou thermodynamique)

FIG. 2.3
Le paradigme
structuraliste

unificateur se déploie alors entre 1950 et 1970 selon deux inspirations, l'une plus européenne, que l'on propose de typifier par le paradigme structuraliste, l'autre plus nord-américaine, que l'on peut reconnaître par le paradigme cybernétique. On peut les caractériser en quelques mots [1].

Dans une effervescence intellectuelle exceptionnelle, la différenciation du *paradigme structuraliste* sembla un instant promettre un nouveau discours de la méthode. *Au total*, concluait J. Piaget (1968, p. 123), qui fut, entre autres, un de ses meilleurs théoriciens, *le structuralisme est bien une méthode et non pas une doctrine.*

---

1. *Complément 1983*. — La version 1976 ne présentait que la transition par le paradigme structuraliste ; on sous-estimait ainsi le rôle « culturel » du paradigme cybernétique dans l'histoire de la théorie de la modélisation ; il est vrai que, on va le lire, Jean PIAGET avait su, pour l'essentiel, ré-intégrer dans sa présentation de la méthode structuraliste (1968) l'essentiel des apports de la cybernétique. Ce qui dissimulait implicitement les apports spécifiques de cette dernière à la modélisation. Son importance conceptuelle nous semble, avec un peu plus de recul, devoir être plus explicitement mise en valeur par un paragraphe rédigé pour cette seconde édition : « Le paradigme cybernétique » (cf. p. 53).

Il proposait une démarche globale qui décrive en même temps l'objet dans sa *totalité,* fonctionnant *et* évoluant (cf. fig. 2.3) : *la nature du sujet est de constituer un centre de fonctionnement et non pas le siège* a priori *d'un édifice achevé* (J. Piaget, 1968, p. 123). L'objet ne peut-il être perçu comme un faisceau de transformations (*ibid.*, p. 124), opérant et évoluant du seul fait de ses opérations ? *Cette constante dualité, ou plus précisément bipolarité, de propriétés d'être toujours et simultanément structurantes et structurées* (*ibid*., p. 11) ; les structuralistes diront bientôt, redécouvrant les intuitions de l'illustre linguiste Ferdinand de Saussure, simultanément *diachronique et synchronique* [1] : la vérité synchronique paraît être la négation de la vérité diachronique et, à voir les choses superficiellement, on s'imagine qu'il faut choisir ; en fait, ce n'est pas nécessaire ; l'une des vérités n'exclut pas l'autre [2].

Nous percevons certes l'objet dans sa *totalité*, mais si nous l'acceptons structuré, ce n'est plus *par une forme statique quelconque mais par un système de transformation* (J. Piaget, 1968, p. 10).

Une telle démarche allait, explicitement, porter un coup mortel au précepte du réductionnisme. *Le caractère de totalité* propre aux structures va de soi [3]... *Une structure est certes formée d'éléments, mais ceux-ci sont subordonnés à des lois caractérisant le système comme tel... conférant au tout en tant que tel des propriétés d'ensemble distinctes de celles des éléments* (*ibid.*, p. 8.) Elle allait aussi atteindre par son talon d'Achille le précepte du causalisme, mais rares furent les chercheurs qui le perçurent et en convinrent ! Citons pourtant A. Lichnerovicz (in *ISEA*, 1972, p. 1507) : *Abandonnant le concept pseudo-scientifique de cause, le structuralisme vise, dans sa démarche dite synchronique, à dégager de l'ensemble des phénomènes un système apte à fonctionner et qu'il soit raisonnable d'isoler.* La cause, concept pseudo-scientifique ? Un tel blasphème semble encore insupportable ; avec une rare honnêteté, J. Monod (1970, p. 32), dont la contribution décisive caractérise exactement la charnière entre le paradigme de la mécanique statistique et le paradigme structuraliste, se refusera à franchir ce Rubicon de la pensée : *C'est de notre entendement, de l'intuition que nous avons du phénomène qu'il s'agit. Il y a là une flagrante* contradiction *épistémologique. La pierre angulaire de la méthode scientifique est le postulat de l'objectivité de la nature. C'est-à-dire le refus* systématique *de considérer comme pouvant conduire à une connaissance « vraie « toute interprétation des phénomènes données en termes de causes finales, c'est-à-dire de « projet ». On peut dater exactement la découverte de ce principe. La formulation, par Galilée*

1. Nous dirons souvent, restaurant le langage des physiciens, dynamique et cinématique (cf. R. THOM, 1972, p. 19).

2. Citation de F. de SAUSSURE par T. VION, in *Encyclopedia Universalis,* vol. 5, p. 526.

3. Il va sans doute de soi, mais il se heurte à de fortes résistances culturelles. La citation de P. DELATTRE (1971, p. 177) rappelée en n. 1, chap. 1, p. 35, en témoigne.

et Descartes, du principe d'inertie ne fondait pas seulement la mécanique, mais l'épistémologie de la science moderne... Le postulat d'objectivité est consubstantiel à la science, il a guidé tout son prodigieux développement depuis trois siècles. Il est impossible de s'en défaire, fût-ce provisoirement... L'objectivité cependant nous oblige à reconnaître le caractère téléonomique des êtres vivants, à admettre que, dans leurs structures et Performances, ils réalisent et poursuivent un projet. Il y a donc là, au moins en apparence, une contradiction épistémologique profonde.

Le paradigme cybernétique [1]

Cette *contradiction épistémologique profonde* dont convenait Jacques Monod a sans doute toujours été reconnue et assumée par la science... Les interdits du positivisme ne contraignent que ceux qui, faute d'arguments, les érigent en dogme. Les réactions contre ces dogmatismes réducteurs sont périodiques et fécondes... Pour le XXe siècle, on peut repérer l'événement que constitua la parution, en 1943, dans une revue internationale de philosophie des sciences, d'un article intitulé « Comportement, intention et téléologie » dû à celui qui allait être, en 1948, le fondateur officiel de la *cybernétique,* N. Wiener [2]. Cette restauration des concepts de *projets, de buts, de téléologie* pour l'étude des comportements des objets ou phénomènes naturels et artificiels allait s'avérer décisive : au début des années soixante-dix, à l'heure où se révélaient mieux les forces et les faiblesses du paradigme structuraliste [3].

1. Ce paragraphe, ajouté pour l'édition 1983, n'apparaissait pas dans l'édition originale.

2. La cybernétique naquit officiellement avec la publication en 1948 (chez un éditeur parisien) de l'ouvrage de Norbert WIENER portant ce titre ; titre que décodait un sous-titre : « Communication et commande chez l'animal et dans la machine ». La science de la communication *et* de la commande avait dès lors droit de cité dans les communautés scientifiques. (On trouve des inventions antérieures de la cybernétique... auxquelles les contemporains ne furent guère attentifs : le Polonais Trentowski en 1843, le Français Ampère en 1834). Outre le texte fondateur de N. WIENER (qui soulignait volontiers sa dette à l'égard de son compagnon A. Rosenblueth), on doit mentionner les deux ouvrages essentiels de Ross ASHBY et sans doute quelques textes des rencontres de la fondation Macy, dont le secrétaire était H. von Foerster (N. WIENER raconte la naissance de ces rencontres, au printemps 1946, dans son introduction à *Cybernetics*). On aura d'autres occasions de mentionner les contributions contemporaines exceptionnelles de H. von FOERSTER qui eut sans doute le premier la vision de la rencontre de la cybernétique wienérienne et du structuralisme piagétien au sein de la naissante systémique au début des années soixante.

3. Forces et faiblesses fort aisément diagnosticables par la lecture de deux ouvrages publiés en 1968 : coïncidence significative. Le « Que sais-je ? » de J. PLACET, *Le Structuralisme ;* et, du sociologue Raymond BOUDON, *A quoi sert la notion de structure ? Essai sur la signification de la notion de structure dans les sciences humaines.* Ce dernier concluait aisément : « La seule définition possible de la notion de structure est intimement liée à la notion de théorie des systèmes » (p. 95).

Le paradigme cybernétique allait en effet proposer une sorte de renversement de la perspective modélisatrice : au lieu de centrer l'attention du modélisateur sur les *mécanismes ou* les structures organiques, il va au contraire proposer de les ignorer en les enfermant dans des *boîtes noires,* tout en privilégiant l'interprétation des comportements ; si une cybernétique classique réduisait la modélisation des comportements à celle des *régulations de fonctionnement,* par la féconde introduction du concept de *boucle informationnelle de rétrocommande* (cf. chap. 5), une cybernétique plus originale allait se développer aux États-Unis, à l'initiative notamment des rencontres de la fondation Macy au fil des années cinquante [1] : des chercheurs éminents en sciences sociales (anthropologie et sciences politiques notamment) et en sciences de la vie (y compris la neuropsychologie cognitive) demandaient à la cybernétique un *cadre de représentation* entièrement fondé sur le concept de boîte noire : non plus *expliquer* les mécanismes en eux-mêmes, mais *comprendre ou interpréter* les comportements en référence permanente aux *projets* du phénomène modélisé, décrits par rapport aux *environnements* au sein desquels il *fonctionne* et il se *transforme : fonctionnement* et *transformation* (ou morphogénèse) entendus dans leur temporalité (cf. fig. 2.4). La notion de *structure* dès lors s'efface au profit de la notion d'*interface* : *l'interface* d'un *projet conçu* dans un *environnement perçu.* Ainsi, suggérera H.-A. Simon, définirons-nous plus judicieusement un ours blanc par la conjonction d'un projet — survivre en fonctionnant — et d'un environnement — le continent arctique [2] — que par l'anatomie structurale de cet ours !...

Les modes de modélisation cybernétique [3] achoppaient pourtant souvent sur leur difficulté à rendre compte, au sein du même modèle, de cette dualité que le structuralisme, notamment dans sa formulation piagétienne (cf. p. 51) tentait d'intégrer : la prise en compte simultanée du fonctionnement (l'activité) *et* de l'évolution morphogénétique (l'évolution) du phénomène modélisé. L'intégration de ces deux paradigmes complémentaires allait se construire explicitement à partir de 1968 en se fondant sur l'expérience modélisatrice des théoriciens de la biologie.

---

1. Rencontres auxquelles participaient notamment John von Newman, J. Morgenstern, K. Lewin, Norbert Wiener, A. Rosenblueth, Warren McCulloch, Gregory Bateson, M. Head et, bien que plus indirectement, semble-t-il, E. Ashby, puis H. Maturana.

2. La métaphore de l'ours blanc symbolisant l'interface entre un « environnement interne » s'adaptant, par projet, à un « environnement externe » qui le moule, est due à H.-A. SIMON dans La *science des systèmes* (1969-1974, p. 22).

3. L'expression « modélisation cybernétique » apparaît pour la première fois en 1964, titrant l'ouvrage de deux ingénieurs tchécoslovaques, publié en anglais, *Cybernetic modeling,* de G. KLIR et M. VALACH.

2. Du paradigme à la théorie du Système Général

Le paradigme systémique

Ce pas, que le biologiste J. Monod n'osait pas franchir, un autre biologiste, quarante ans plus tôt, l'avait fait ; les intuitions de L. von Bertalanffy affrontant seul, vers 1930, le faux débat de la biologie théorique d'alors, entre un mécanisme intolérant et un vitalisme souvent puéril, allaient fonder le *paradigme systémique* [1] *:* la bannière de ce rassemblement porte un nom forgé par Bertalanffy, *la Théorie du Système Général,* dont l'exposé constitue le projet même de cet ouvrage. Il importait de le situer au préalable dans son histoire, et de repérer, fût-ce succinctement, les racines maîtresses de cet arbre de la connaissance telle que le reconnaît, parmi d'autres sans doute, la pensée humaine contemporaine.

SYSTEME : Structure — Activité — Évolution

« Il existe donc une relation circulaire entre les trois aspects de base des systèmes : les structures changent un instant lorsqu'elles fonctionnent, mais lorsque ce changement est si grand qu'il est nécessairement irréversible, un processus historique se développe, donnant naissance à une nouvelle structure.

(J. A. MILLER, 1971, p. 39.)

L'intuition fondamentale du paradigme structuraliste, la perception de la structuration de l'objet par son fonctionnement même, était déjà au cœur de la première vision du biologiste qui l'avait spontanément baptisée *organicisme : l'histoire de la biologie*

---

1. Assez curieusement, J. MONOD (1970), qui porte en une ligne un jugement sévère sur l'œuvre de Bertalanffy (*La vague théorie générale des systèmes,* p. 91), semble n'avoir pas connu l'œuvre de son devancier : il se réfère en effet à un seul article de ce dernier — papier de circonstance dans un recueil de KOESTLER et SMYTHIES (1969). *General System Theory,* qui rassemble les principaux matériaux de la vision de BERTALANFFY, était pourtant paru aux États-Unis en 1968, et *Les problèmes de la vie, essai sur la pensée biologique moderne,* publié en allemand en 1949, avait été traduit en français en 1961 : traduction qui passa, semble-t-il, presque inaperçue : coïncidence sans doute : un chapitre de ce dernier ouvrage s'intitule : « Le hasard et la loi ! ». Le *hasard et la nécessité* de J. MONOD aurait-il été le même livre s'il avait eu l'occasion de pratiquer la pensée de son devancier ? À moins que... ? J. Monod, curieusement, ne cite pas le titre de l'article de L. von Bertalanffy auquel il se réfère : son lecteur sera un instant songeur s'il se reporte au texte : *Chance or Law (Le hasard ou la loi).* Coïncidence ? ([b]).

comportera sans doute demain un chapitre intitulé : « La lutte pour le concept organismique au début du XXe siècle. « On y lira comment cette idée fut négligée sous l'influence de la philosophie cartésienne, comment une métaphysique mécaniste interdit même à la biologie de rêver que les organismes puissent être autre chose que des amas de petits corps solides ; comment la première apparition du concept organismique au début du siècle avorta du fait d'une formulation incorrecte, Driesch ayant simplement substitué à l'absurde notion d'une machine fonctionnant sans mécanicien celle d'un ingénieur métaphysique (L. von Bertalanffy, 1949-1961, p. 258).

L'image de l'organisme vivant, fonctionnant *et* évoluant, fécondait quasi spontanément la synthèse. Mais elle acculait à deux hypothèses complémentaires, à la fois banales et insupportables, hypothèses que les déploiements successifs du discours cartésien avaient victorieusement tenté de fuir parce qu'elles contraignaient à renoncer aux quatre préceptes du premier discours, ou plutôt à les désacraliser en en proposant d'autres, tout aussi raisonnables, tout aussi contingents, ceux par exemple que nous avons recensés au chapitre précédent pour typifier le nouveau discours de la méthode !

— L'hypothèse *téléologique* [1] d'une part : comme l'organisme vivant, l'organe modélisant l'objet est supposé doté d'au moins un projet identifiable, par rapport auquel son comportement pourra être interprété. *Il ne se contente pas d'obéir* à d'éventuelles lois causales, *il les utilise, comme le ferait un bon ingénieur, pour accomplir le projet, le « rêve »* (cf. F. Jacob) *de l'organisme* (J. Monod, 1970, p. 32). *L'explication causaliste est beaucoup moins plausible en ce qui concerne l'origine des mécanismes organiques très compliqués* (L. von Bertalanffy, 1968-1973, p. 77). La structure n'est plus nécessairement explicative de la fonction ou de l'évolution. L'une et l'autre peuvent s'interpréter par les projets, lesquels s'exprimeront *a priori* par des structures possibles (y compris par la plus familière et la moins explicative : *la boîte noire,* cf. chap. 4). Elles ne seront plus dès lors *évidentes* mais, plus loyalement, *pertinentes* par rapport aux projets considérés.

— L'hypothèse de l'ouverture sur l'environnement d'autre part elle découle certes de la précédente (conséquence du fait caractéristique que l'organisme est un système ouvert, précise L. von Bertalanffy, 1968-1973, p. 77), mais elle la dépasse assez largement.

---

1. La littérature anglo-saxonne parle plus volontiers de *téléologie,* la littérature française de *téléonomie* pour désigner « l'étude des finalités d'un objet ». Je suggère de retenir une différenciation significative établie par A. WILDEN (1972, p. 363) ; *téléonomie* : étude des systèmes finalisés par une stabilité, recherche de la stabilité structurelle et non du changement (en anglais : *goal-seeking system*) ; *téléologie* : étude des systèmes finalisants, acceptant différentes plages de stabilité structurelles et capable en général d'élaborer ou de modifier leurs finalités (en anglais : *purposeful system*). Cf. divers compléments et nuances au chap. 9, et la note 1, p. 136.

Le paradigme structuraliste avait certes déjà fait sien le précepte globaliste (le caractère de totalité propre aux structures va de soi, J. Piaget, 1968, p. 8), mais il l'avait immédiatement délimité, borné : Ce caractère de conservation avec stabilité des frontières, malgré la construction de nouveaux éléments, suppose donc un autoréglage des structures (J. Piaget, 1968, p. 14).

En s'annexant brutalement la cybernétique [1], le structuralisme se fourvoyait dans l'impasse de la modélisation des systèmes fermés. C'est cette impasse que, avec une exceptionnelle intuition, L. von Bertalanffy avait perçue vers 1930 en proposant d'appeler « théorie des systèmes ouverts » la théorie supportant le paradigme organiciste qu'il conceptualisait alors pour sortir la biologie de l'alternative sans issue « mécanicisme-vitalisme » (cf. L. von Bertalanffy, 1968-1973, p. 124) [2]. Il soulignait d'emblée sa caractéristique essentielle : représenter les objets dans leur substrat, c'est les représenter ouverts sur leur environnement, même si cet environnement ne peut jamais être exhaustivement descriptible [3]. Quelque dix ans plus tard, percevant plus sûrement la généralité de la modélisation par système ouvert, il allait proposer de sortir du champ de la biologie théorique et forger le concept de Système Général pour en rendre compte. Cet historique nous importe aujourd'hui dans la mesure où il nous fait mieux percevoir l'intuition créatrice, l'ouverture de l'objet sur l'environnement, et par là même le clivage fondamental que provoque l'émergence du paradigme systémique par rapport au paradigme cartésien.

La prise en compte de ces deux hypothèses à partir du schéma de base du paradigme structuraliste (cf. fig. 2. 3) et du paradigme cybernétique (cf. fig. 2.4.) se traduit aisément de façon graphique (cf. fig. 2.5) : *La révolution systémique* (cf. R. L. Ackoff, 1974) est un dépassement et non un reniement. Le nouveau discours de la méthode

---

1. L'édition originale proposait ici un très bref développement de sept lignes introduisant le développement du paradigme cybernétique : développement que l'on présente plus soigneusement dans l'édition de 1983 (cf. p. 53). On l'évoquait en référence au paradigme mécanique classique, en mentionnant par une note quelques repères qu'il est utile de conserver. C'est précisément par cette forme limite que s'est fait, historiquement, le basculement du paradigme cartésien au paradigme systémique. Voir, entre autres, sur ce thème : A. WILDEN, 1972, p. 352 et p. 355 ; L. von BERTALANFFY, 1968-1973, p. 154, et R. RUYER, 1954, p. 25 : « En *rendant la cybernétique moins mécaniste, on ne l'éloigne pas, bien au contraire, du point de vision scientifique du monde.* »

2. Voir aussi p. VIII de l'édition 1968 en langue anglaise (G. BRAZILLER, Pub. NY). L'édition française reprend la préface de l'édition Penguin, 1971, qui est peut-être moins intéressante pour le lecteur soucieux d'interpréter les idées dans leur histoire.

3. De façon imagée, la célèbre école systémique polonaise (dont les principaux travaux furent publiés sous le règne de la cybernétique, avant l'émergence du paradigme systémique) utilise le concept de « système quasi isolé » pour traduire le concept de système ouvert, en accusant ainsi la différence avec les systèmes... familiers des modélisateurs : « les systèmes absolument isolés » (cf., p. ex., H. GRENIEVSKY, 1960-1965, p. I).

hérite non seulement de l'ancien, mais de quelques autres que l'Occident semblait oublier. Interpréter et représenter l'objet comme une intervention finalisante dans un environnement, n'est-ce pas le

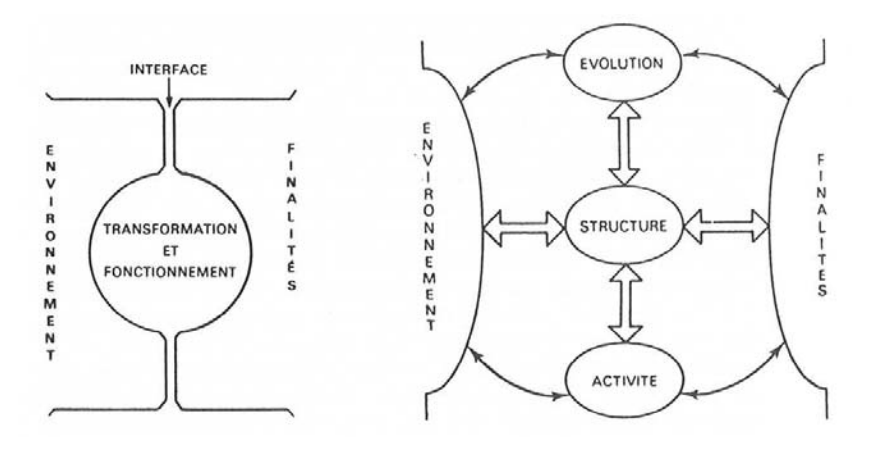


FIG. 2.4. — *Le paradigme cybernétique*

FIG. 2.5. — *Le paradigme systémique*

percevoir comme engendré par un conflit ? La redécouverte d'Héraclite *(le conflit est père de toute chose)* est l'œuvre de quelques grands systémistes contemporains (R. Thom), comme celle d'Aristote : *n'est-ce pas à la doctrine aristotélicienne selon laquelle structure et fonction sont reliées à une finalité ou à une intention qu'il importe de revenir si l'on veut interpréter le développement de l'organisme ?* (P. K. M'Pherson, 1974, p. 220.)

Il faut interrompre ici une méditation épistémologique qui se renouvelle chaque jour [1], si on pense l'avoir poussée assez avant : il importait, ayant interprété l'émergence d'un nouveau discours de la méthode au sein de la pensée contemporaine, de vérifier la disponibilité d'un paradigme épistémologique suffisamment formalisé pour supporter et mettre en œuvre ce nouveau discours. Le paradigme systémique a ces qualités. Son caractère opérationnel doit maintenant

---

1. Le remarquable tome I de La *Méthode* d'E. MORIN paraît à l'instant où j'achève l'ultime lecture des épreuves de ce livre : le renouvellement épistémologique s'accélère sensiblement en 1977, *Complément 1983. — On* maintient cette note de l'édition originale. La longue introduction à la seconde édition éclaire plus complètement ce qui n'était alors qu'une allusion *in extremis.*

s'exprimer en une théorie qui permette d'identifier les concepts de base, de vérifier leur cohérence et de révéler les conditions de leur mise en œuvre dans la pratique de la modélisation des objets ; une théorie qui couple une méthodologie sur une épistémologie.

Les deux théories du système

— la théorie générale : une version stupéfiante

« *De tout ce qui précède se dégage une vision stupéfiante, la perspective d'une conception unitaire du monde jusque-là insoupçonnée. Que l'on ait affaire aux objets inanimés, aux organismes, aux processus mentaux ou aux groupes sociaux, partout des principes généraux semblables émergent* » (L. von Bertalanffy, 1948-1961, p. 220).

L'immensité de cette ambition stupéfia tellement nos contemporains qu'ils ne s'aperçurent pas qu'ils avaient depuis longtemps accepté, après quelques prudences initiales, semblables *folies* lorsque Aristote ou Descartes les proposèrent à nos civilisations ? L'enjeu pourtant s'avère si fantastique — une conception unitaire du monde — que l'on a quelque scrupule à relever le défi. Il nous importait certes que quelques visionnaires, de P. Teilhard de Chardin à L. von Bertalanffy, s'y essayent, mais allions-nous ignorer leur acquis en regrettant une insuffisante argumentation, tel manque de rigueur (*la vie*, disait Paul Valéry, *n'a pas le temps d'attendre la rigueur*), telle *incomplétude* (cf. Pizzorno, 1975). L. von Bertalanffy avait eu, là aussi, l'intuition de cette alternative en proposant un titre bivalent pour la théorie dont il élaborait les fondements : *General System Theory* se traduit correctement par *Théorie Générale du Système* et *Théorie du Système Général,* et ces deux traductions rendent bien compte des deux ambitions [1].

La *vision stupéfiante* est celle d'une théorie générale de l'univers, du système universel. La tiendra-t-on pour *vague* (J. Monod, 1970, p. 91), pour *un ensemble syncrétiste d'idées théoriques* (E. Morin, 1974, p. 746), ou pour un vœu *pieux* (R. Thom, in *ENSTA,* 1976, p. 9), voire *pour une terminologie plutôt qu'une théorie* (Betz et Mirtroff, 1974, p. 1242), tout en confessant *le besoin désespéré d'une telle théorie ?* (F. K. Berrien, 1968, p. V.) Nous n'entrerons pas

---

1. Ce jeu de mots a déjà provoqué quelques débats, les uns de type byzantin, les autres cherchant à révéler 1 essentiel sous l'accessoire. On a repris en Annexe 3 certaines de ces considérations pour mieux justifier auprès des experts sourcilleux le choix de la formule que l'on a retenue pour présenter la Théorie du Système.

aujourd'hui dans ce débat ouvert en proposant à la réflexion et à l'action intelligente un autre terrain.

— *la théorie de la modélisation*

La théorie du Système Général est *la théorie de la modélisation des objets* (naturels ou artificiels, compliqués ou complexes) à l'aide de cet objet artificiel peu à peu façonné par la pensée humaine, que L. von Bertalanffy proposera d'appeler *le Système Général : le système est un modèle de nature générale* (L. von Bertalanffy, *in* Klir, 1972, p. 31). C. W. Churchman définira en une ligne, dès 1964, la nature de cette théorie : la *théorie du Système Général est la méthodologie de recherche du Système Général* (*in* M. Mesarovic, 1964, p. 175).

Cet objet artificiel peut être défini ; il est possible de le doter de propriétés, il est possible de s'assurer de la cohérence de ces propriétés, il est possible enfin de l'utiliser pour représenter (nous dirons bientôt pour *systémographier :* cf. chap. 3) d'autres objets, quels qu'ils soient. La théorie du Système Général est — et n'est que — l'exposé d'une théorie de la modélisation : l'exposé des propriétés cohérentes de l'objet Système Général, outil de modélisation.

L'objectif ainsi délimité ne nous conduit pas à un vague syncrétisme, mais à une construction intellectuelle que l'on prétend rigoureuse (ou susceptible de le devenir), mais nullement totalitaire elle tire sa force de sa contingence.

La description de l'objet Système Général

Il y a une dizaine d'années, toute étude sur les systèmes généraux devait commencer par une explication de cette expression, car personne n'en avait jamais entendu parler. Il en va de même aujourd'hui, pour une raison diamétralement opposée, plaisantent D. Ganse et G. Weinberg (*in* G. S. Y., 1973, p. 137).

Le premier paradoxe de la théorie tient à ce qu'elle est présumée définir une méthode de recherche d'un objet qu'on aurait au préalable, sinon déjà trouvé, au moins su définir, de telle façon qu'on puisse le reconnaître ultérieurement !

Sur ce paradoxe ont achoppé la plupart des traités : contraints : d'initialiser le processus par une définition et une seule, ils inhibent leur progression ou se contraignent à des contorsions intellectuelles qui dégradent la théorie en une collection d'éphémères recettes. Convenons à leur décharge que L. von Bertalanffy lui-même ne les a

pas directement mis en garde, en proposant à l'occasion une définition du système aussi pauvre que possible : *il semble en premier lieu que la définition des systèmes comme « ensemble d'éléments en interaction » est si générale et si vague qu'on ne peut pas en tirer grand-chose. Ceci n'est cependant pas vrai* (L. von Bertalanffy, 1968-1973, p. 37). Hélas ! Car on montrerait sans peine que cette définition analytique et ensembliste a fourvoyé bien des chercheurs qui ne perçurent pas le passage qu'elle autorisait avec d'autres définitions, au moins aussi fécondes [1].

Pour échapper à cette contradiction formelle, nous avons suivi, quasi spontanément, un autre itinéraire que celui de « la définition d'abord » : plus détourné sans doute, mais peut-être plus « public ».

En partant de l'histoire d'une intention, celle de la recherche des *méthodes pour bien conduire sa raison* et donc pour représenter honnêtement le monde connaissable, nous avons progressivement fait émerger un paradigme qui s'exprime correctement par un idéogramme (celui de la figure 2.5). Il nous est loisible alors de baptiser *Système Général* la description de ce schéma qui a semblé typifier les articulations essentielles du discours auquel on se référait. Cette description (plutôt que cette définition) est sans doute générale et intentionnelle, mais son exposé devrait nous suffire à reconnaître un tel objet artificiel lorsque nous le rencontrerons : un objet qui, dans un environnement, doté de finalités, exerce une activité et voit sa structure interne évoluer au fil du temps, sans qu'il perde pourtant son identité unique.

De façon plus triviale, mais peut-être plus mnémonique [2] :

— quelque chose (n'importe quoi, présumé identifiable)

— qui *dans* quelque chose (environnement)

— *pour* quelque chose (finalité ou projet)

— *fait* quelque chose (activité = fonctionnement)

---

1. R. THOM (1974, p. 130) a fort clairement souligné cette difficulté : *on définit en général un système comme un ensemble d'éléments en interaction. Ce qui conduit à deux questions délicates :*
1) *il peut n'être pas clair de définir les éléments du système et cette définition peut impliquer un choix arbitraire ;*
2) *inversement, si les éléments sont morphologiquement définis, on ne sait pas caractériser si un ensemble d'éléments forme un système ou non.*

2. *Complément 1983*. — Le paragraphe qui suit reprend en la complétant la rédaction initiale de cette définition du système général et de sa justification historique.

— *par* quelque chose (structure = forme stable)

— qui *se transforme* dans le temps (évolution)

ou encore, en acceptant une définition passe-partout du mot objet :

Un objet *actif* et *stable* et *évoluant*	} {	dans un *environnement*, et par rapport à quelque *finalité*

Cette définition par congruence de cinq concepts communément entendus constitue une construction suffisamment formalisée pour être communicable et intelligible. Elle se justifie par sa généralité (elle est compatible avec toutes les définitions usuelles du concept de système) et par son objectif avoué : fournir un support explicite à un mode normatif de *conception de modèles* de phénomènes perçus par un observateur (concrets ou abstraits, tangibles ou intangibles). Elle se reconnaît directement héritière d'une pratique scientifique fort développée depuis le XVIIe siècle, pour laquelle le mot système caractérisait un mode de représentation (un modèle, donc) général et pourtant spécifique (image d'enchevêtrements et de combinaisons multiples) [1]. Il est plus de cent désignations d'objets ou de phénomènes fort divers qui s'introduisent par le préfixe « système » sans que celui-ci les uniformise : il révèle quelques traits communs à tous, confusément perçus, celui par exemple de leur *complexité* présumée. Cette invariance n'est-elle pas significative ? C'est sans doute par l'examen des histoires du mot système que l'on trouvera la plus sérieuse légitimation de ce concept et de sa définition contemporaine. Ce sera précisément en faisant œuvre d'historien des sciences, des philosophies et des arts et techniques que les systémiciens contemporains parviendront à rassembler les *traits* permanents associés à la *conjonction* exceptionnelle que l'on nomme désormais le *système général.*

---

1. L'article Système de *l'Encyclopédie* de DIDEROT et d'ALEMBERT comporte 45 pages ; il accumule les présentations des systèmes métaphysiques et théologiques, des systèmes d'astronomie, des systèmes mécaniques, des systèmes anatomiques, des systèmes poétiques et fabuleux, des systèmes mythologiques, des systèmes de fortifications (art militaire) et des systèmes harmoniques (de notation musicale) : « Les systèmes généraux, que les Anciens appelaient communément diagrammes, étaient formés de la somme de tous les systèmes particuliers et comprenaient tous les sons employés dans la mélopée. C'est de ceux-là qu'il me reste à parler... ». Je dois à Alain Gire, que je remercie ici, cette redécouverte d'un des plus étonnants articles de *l'Encyclopédie.*

3. Le plan de la Théorie du Système Général

La définition est une triangulation

Toute description, pour devenir construction intellectuelle rigoureuse, doit, à son tour, convenir des intentions de son auteur et ambitionner des paternités multiples ! Une vieille expérience a appris à la pensée humaine les trois pôles à partir desquels elle pouvait définir les objets... et la commodité qu'il y avait à n'en retenir qu'un seul. Commodité bien illusoire, trois siècles de culture occidentale et cartésienne nous le confirment aujourd'hui : en privilégiant trop la définition *ontologique,* analytique, aux dépens de la définition *fonctionnelle,* physiologique et de la définition *historique,* morphogénétique.

La « révolution » cartésienne commit l'erreur cruciale, absolue et analytique (selon nous) de conférer, sans justifications, un statut ontologique privilégié aux entités (ou aux substances, ou aux objets) aux dépens de leurs relations, de leurs attributs, de leurs accidents (A. Wilden, 1972, p. 215). À cette *description formelle (la forme décrite du point de vue de ce qu'elle est),* il importe d'ajouter, rappelle l'urbaniste Ch. Alexander (1964-1971, p. 75), *le point de vue de ce qu'elle fait lorsqu'elle est mise au contact de son environnement : on appelle cela, parfois, la définition fonctionnelle ;* nous pourrions dire tout aussi bien : la définition *expérimentale,* ou peut-être la définition *praxéologique,* celle que nous construisons par la pratique de l'objet à définir, indifférents à sa composition, mais attentifs à son comportement ou à son utilisation.

Cette dialectique de l'expérience et de l'essence ne suffit pas pourtant à rendre compte de l'aptitude à définir : avec un peu d'outrance dans l'expression, le mathématicien C. P. Bruter (1973, p. 22) soutiendra : *il faut aller plus loin (que Darwin) et affirmer que toute explication vraie est généalogique, génétique* [1]. Le propos est essentiel, bien qu'il ait quelque difficulté à être accepté encore par nos cultures occidentales engluées de cartésianisme. P. Teilhard de Chardin fut sans doute le premier des grands penseurs du XX[e] siècle à le redécouvrir avant les anthropologues, les biologistes, puis — mais surtout — J. Piaget ([c]), qui sut forger les fondements de

---

1. Il est significatif que ce troisième point de vue ait été *oublié* par l'urbaniste Ch. Alexander : n'est-ce pas un des drames de l'urbanisme contemporain que cette inaptitude à convenir qu'il inscrit des formes actives non seulement dans l'espace mais aussi dans le temps, dans une histoire : une imbrication de projets.

L'épistémologie génétique (1970) : définir l'objet, c'est le connaître dans son histoire (son hérédité), et donc son projet (son devenir) [1].

La trialectique de *l'Être,* du *Faire,* du *Devenir,* est sans doute le sésame de la représentation, sinon de la connaissance de l'objet.

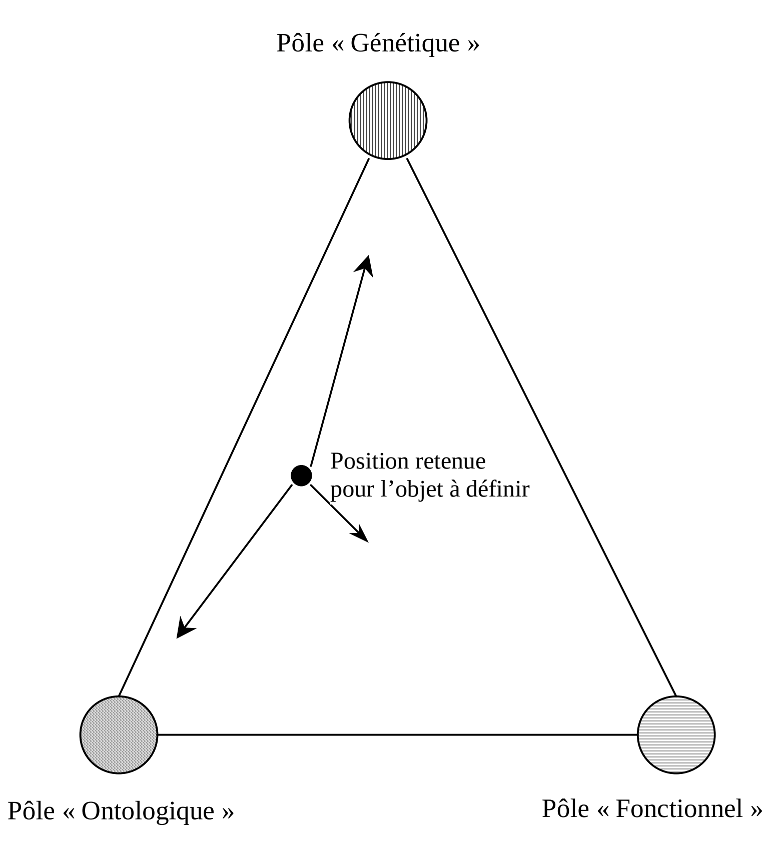


FIG. 2.6. — *La définition d'un objet se fait par triangulation :*
elle pondère une définition fonctionnelle (ce que l'objet fait)
une définition ontologique (ce que l'objet est)
et une définition génétique (ce que l'objet devient)

Chaque modélisation est pourtant une nouvelle entreprise. Il est, dans ce triangle, bien des barycentres possibles, qu'il importe surtout de localiser loyalement. Mais nos définitions devront toujours être telles que le même objet ne sera représenté que par un seul point dans cette triangulation. Et plus le barycentre retenu sera équilibré, plus nous percevrons notre modèle comme *harmonieux* (cf. fig. 2.6).

---

1. Le dernier peut-être des grands mécaniciens le pressentait sans doute lorsqu'il écrivait : *Les systèmes héréditaires menacent le caractère achevé de la dynamique de 1890 à laquelle il ne manquait rien d'essentiel* (Th. VOGEL, 1973, p. 35).

LA DEFINITION GENETIQUE

On peut lui donner différents noms, génétique, phylogénétique, ontogénétique ; Platon, dans le *Timée*, la qualifie de « naturelle ». C'est la méthode que nous suivrons.

Tout objet possède une vie propre, et l'espèce à laquelle il appartient, une longue histoire.

Les événements façonnent avec le temps l'objet, le cours de son évolution. Connaître véritablement l'objet, c'est avant tout avoir percé les secrets de son histoire, de la lignée dont il est à la fois l'aboutissement et une projection.

(C. P. BRUTER, 1976, p. 17-18.)

Les descriptions du Système Général : sa théorie [1]

Cette rapide évocation des trois attitudes du modélisateur — ou de l'observateur, le *sujet* actif procédant à une description communicable de ce qu'il *perçoit* et de ce qu'il *conçoit* — *suggère* le cadre dans lequel viendra s'inscrire la description de *l'objet* à modéliser (l'observé) : ces trois visions, la fonctionnelle, l'organique et l'historique, devront se *joindre* et s'imbriquer, révélant par leur compatibilité mutuelle la légitimité de l'hypothèse initiale : ce que l'on modélise est bien modélisable ; pour cet observateur, il dispose d'une *identité* spécifique et spécifiable.

Cette *conjonction* des trois définitions — ou des trois *modes de modélisation* — est sans doute propre à l'observateur. Il doit pouvoir la communiquer en des termes intelligibles *(son modèle)*, il ne peut l'imposer en arguant de son *évidence ou* de son *objectivité.* Chaque définition dépend non seulement des trois *instruments d'observation* — les trois viseurs (fonctionnel, organique, historique) — mais aussi du rapport de cet *observateur* modélisant avec *l'observé* modélisable

---

1. La rédaction de la première partie de ce paragraphe est modifiée pour l'édition 1983, afin de présenter plus explicitement, bien que succinctement, l'option épistémologique dite de « l'interaction objet-sujet » par laquelle on a légitimé le plan théorique.

Le PARADIGME SYSTEMIQUE	**LA THÉORIE du SYSTEME GENERAL**	L'OBJET, PROJETS DANS UN ENVIRONNEMENT		
		en **A**CTIVITE	se **S**TRUCTURE	en **E**VOLUTION
Chapitre 3 Systémographie et Système de Représentation	Définition **F**ONCTIONNELLE de l'OBJET	**1** **Chapitre 4** L'environnement, tapissé de *processus* Boîte noire, flux et champ	**4** **Chapitre 7** Le *programme* de succession d'états calendrier, trajectoires et équation d'état	**7** **Chapitre 10** *Dynamique* : chronique de la fonction d'état, Entropie et variété
Chapitre 2 Le paradigme systémique Concevoir l'objet Système Général	Définition **O**NTOLOGIQUE de l'OBJET	**2** **Chapitre 5** Un *réseau* borné de processeurs élémentaires : arborescence et rétromettance	**5** **Chapitre 8** L'organisation : structure plus programmes mémorisés	**8** **Chapitre 11** La dualité *différenciation-coordination*
Chapitre 1 Discours de la méthode L'ancien et le nouveau	Définition **G**ÉNÉTIQUE de l'OBJET	**3** **Chapitre 6** Des projets emboîtés d'*intervention* : les neuf niveaux	**6** **Chapitre 9** *Équilibrations* morphostatiques : régulation et adaptation	**9** **Chapitre 12** *Évolution créatrice* de l'organisation dans un champ de finalisation
(1ère partie)		*(2e partie)*	*(3e partie)*	*(4e partie)*

FIG. 2.7 — *Le plan de la Théorie du Système Général*

dont il a fait élection. Sur cette *interaction objet-sujet,* bien des réflexions se sont accumulées depuis que René Descartes a proposé de la récuser en introduisant cette fatale *disjonction* de la Science (des objets) et de la Philosophie (des sujets). Proposons loyalement de faire nôtre l'interprétation contemporaine de Jean Piaget restaurant les épistémologies constructivistes et génétiques, en fondant sur *l'interaction sujet-objet* [1], sur la *conjonction première*[2], le mode privilégié de *construction des représentations et donc des connaissances :* au lieu de nier arbitrairement sa légitimité, assumons sans arrogance sa commodité, heureux de trouver dans l'Histoire de la connaissance, d'Héraclite à Prigogine, bien des traces de cette Alliance[3] toujours renouvelée, qui nous confortent dans cette liberté de penser avec assez de rigueur.

Interaction particulièrement aisée à explorer et à reconnaître dès lors que nous savons archétyper ses grandes composantes : la familière représentation matricielle des *trois conceptions* de la modélisation (fonctionnelle, organique, historique), se croisant sur *les trois perceptions* du phénomène modélisé, constitue la trame dont nous avons besoin pour présenter *la théorie du modèle* de ce phénomène. Puisque ici l'objet de notre modélisation est précisément cet artefact que nous avons collectivement reconnu ou construit sous le nom de *Système Général*, le *plan de sa théorie* s'architecture sur cette matrice tramée : chacune des trois grandes caractéristiques que nous retenions du Système Général : *Actif, Stable, Évoluant* (dans ses *environnements*, par rapport à ses *finalités*) pouvant être perçue et représentée par chacune des trois conceptions de la représentation que nous venons de retenir (cf. fig. 2.7). Ainsi par cette imbrication s'organise quasi graphiquement *l'interaction objet-sujet* que nous souhaitions (re)connaître pour « présenter, dans ses multiples *traits,* le Système Général que l'on se propose d'instrumenter pour d'ultérieures modélisations : *le modèle du modèle* [4].

---

1. La présentation la plus élaborée qu'en donne Jean PIAGET est celle qu'il a rédigée pour l'encyclopédie Pléiade, *Logique et Connaissance scientifique* (p. 1240 +). On a mis en valeur quelques-unes des raisons qui justifiaient cette présentation dans l'article Systémique et épistémologie publié dans J. LESOURNE (1982), *La notion de système.*

2. On emprunte la formule, dans ce contexte, à A. BOGDANOV (1920-1989, p. 80).

3. On aura reconnu la référence au bel essai de I. PRIGOGINE et I. STENGERS, intitulé *La nouvelle alliance* (1979) *:* « Nouvelles alliances entre l'histoire des hommes, de leurs sociétés, de leurs savoirs, et l'aventure exploratrice de la nature » (p. 296).

4. Edgar MORIN aboutit, dans *La Méthode* (t. II, 1980, p. 351 +) à un « modèle du modèle » qu'il appelle *l'incompressible paradigme ou, plus* loin, le *paradigme de l'hypercomplexité : l'argumentation* et l'itinéraire de sa construction pourraient être entièrement repris pour étayer notre propos (moins ambitieux certes que celui de *La Méthode ;* mais les convergences sur les concepts d'appui constituent des repères rassurants). Pour le lecteur soucieux d'établir des correspondances, je suggère de reconnaître dans la triade morinienne « Eco-Auto-Ré-Organisation », notre définition ternaire du Système « Actif, Stable, Evoluant » ; et dans sa triade « Phéno-Ego-Géno » notre triangulation « fonctionnelle, organique, génétique ».

Les neuf cases de cette grille (cf. fig. 2.7) constituent les neuf modules du plan d'exposition de la théorie. Si une lecture exclusivement horizontale (ligne par ligne) ou exclusivement verticale (colonne par colonne) de ces neuf chapitres ne révèle pas d'incohérentes notables ni de contradictions implicites, il semble que nous disposerons d'un exposé de la théorie qui satisfasse aux canons de rigueur intellectuelle dans la construction que nous nous étions proposés. On disposera alors, par surcroît, de l'énumération des principales propriétés (ou des principaux concepts) dont l'intrication constitue la substance même de la théorie.

Si le lecteur identifie un itinéraire qu'il reconnaisse comme une sorte de spirale hélicoïdale convergente [1], peut-être aurons-nous atteint notre objectif le plus cher, qui était, en déployant le tissu de la théorie, d'en faire apparaître les lignes maîtresses de reploiement, et de ne pas détruire l'harmonie des fronces lors de la mise à plat qu'impose l'écriture et qu'atténue le schéma.

Sur la validation de la théorie

Avant de faire la preuve de la théorie par l'exposé de la théorie elle-même, il importe pourtant de répondre à deux objections légitimes : celle des hommes de science (la validité) d'une part, celle des hommes d'étude et d'action (l'utilité) de l'autre.

L'objection de la validité de la théorie n'est pas nécessairement byzantine. Elle inhibe, actuellement, le développement de la Théorie Générale du Système (dans les termes où on la définit plus haut). Dans le cas de la Théorie du Système Général, on se trouve devant une situation épistémologique relativement familière pour les sciences de l'homme et que bien des praticiens des sciences exactes gagneraient à pratiquer loyalement : nous avons le droit de créer un objet artificiel — ici l'objet Système Général —, de le doter — toujours artificiellement — de propriétés et de nous assurer de la cohérence interne de l'ensemble des propriétés rapportée à l'objet. Cette vérification peut se faire par la construction argumentée de la théorie de cet objet. L'utilité de l'objet et de sa théorie n'est pas encore à ce stade mise en question.

Nous devons ensuite déclarer notre intention d'appliquer ladite théorie à un phénomène : ici, la modélisation des objets. La valeur marchande de cette théorie découlera sans doute de l'effectivité de cette application. Satisfaisante en pratique, nous déclarerons la théorie utile. Peu ou pas satisfaisante, nous ne la déclarerons pas fausse, mais simplement moins ou pas utile. Sa qualité, en tant que construction théorique, se valide en amont de son utilité immédiatement perçue.

---

1. Voir p. ex. R. W. GERARD, un des cofondateurs, avec L. von BERTALANFFY et K. BOULDING, de la *Society for General Systems Research, in* WHYTE *et al.,* 1969, p. 227.

Quelques lignes du grand anthropologue anglais A. R. Radcliffe Brown (1952-1968, p. 72) éclaireront plus spécifiquement le propos : *Une théorie, c'est-à-dire... un schéma d'interprétation applicable à une classe déterminée de phénomènes en vue de la comprendre. Cette théorie peut être exposée au moyen de trois concepts fondamentaux logiquement liés de processus, structure et fonction. Elle prend ses origines dans des œuvres d'écrivains antérieurs...* Surtout si on la complète par cette déclaration d'humilité de R. Thom (1974, p. 132) : *Une théorie modeste puisque son seul but est (non pas d'expliquer, mais) d'améliorer la description*.

Puisque c'est probablement sur les tables de la loi du discours cartésien que l'on nous demandera le plus souvent de fournir les preuves de la Théorie du Système Général, reprenons enfin une profonde observation de C. W. Churchman (1971, p. 18-22)

Le paradigme cartésien est-il lui-même prouvé ? Comment se fait-il même que cette méthode ne soit pas programmable (comment programmer *l'impression d'évidence ?).* Ne disconvenons certes pas de son utilité tant qu'il fallut interpréter les *simplicités organisées* [1], mais invitons-le à convenir de sa contingence, dès lors que l'esprit humain affrontait les *complexités chaotiques* par l'émergence du paradigme de la mécanique statistique, puis les *complexités organisées,* par l'émergence du paradigme systémique.

Sur l'utilité de la théorie

L'objection de l'utilité de la théorie est si fondamentale en revanche qu'il paraît nécessaire de lui consacrer un chapitre spécifique (chap. 3), non pas tant pour « faire la preuve de l'utilité » en narrant quelques anecdotes probantes ou en organisant un référendum de praticiens expérimentés, qu'en décrivant, avec quelques détails, *le mode d'emploi* de la théorie ; nous avons proposé de l'intituler : la *systémographie,* pour échapper à la contradiction sémantique de l'expression usuelle : l'analyse *de système.*

*
* *

---

1. La distinction des trois grandes phases de la pensée scientifique depuis quatre siècles : simplicité organisée, complexité chaotique, complexité organisée, est due à W. WEAVER, par un article, depuis très fréquemment cité, de *American Scientist,* n° 36, 1948, p. 536-544.

▶ Relecture

On a mentionné au fil du texte les additions et substitutions au texte initial de ce chapitre, relativement nombreuses, auxquelles on a procédé pour l'édition 1983. Il n'est donc pas nécessaire de les reprendre ici, sinon pour préciser que la plupart de ces modifications ont été suggérées par l'expérience de divers enseignements et par la conscience des inconvénients des présentations trop cavalières ou expéditives des théories de la connaissance.

Notes complémentaires pour la deuxième édition

([a]) Quelques très riches réflexions de grands physiciens contemporains sont devenues accessibles depuis 1976, date de la rédaction de ce chapitre. Les ouvrages de B. d'ESPAGNAT (1979 et 1982) et d'I. PRIGOGINE et I. STENGERS (1979) suggèrent de notables développements d'un argument introduit ici de façon peut-être un peu trop prudente.

([b]) Il faut mentionner aujourd'hui la contribution, peut-être également décisive, d'au moins un autre biologiste dans cette progressive conceptualisation de la systémique : on doit à P. Delattre d'avoir introduit en France l'œuvre de P. A. WEISS (1974) qui révèle l'origine de cette entreprise : « Dès ma thèse de doctorat (1922) qui portait sur le comportement animal considéré comme réaction de systèmes, j'avais abandonné la vieille doctrine mécaniste pour étudier les organismes à partir de la méthode plus souple des « Systèmes »…. » (p. 10).

([c]) Cette conjonction de la structure ontologique et de la fonction s'interprète précisément, selon Piaget, par leur relation, qui est genèse pour le philosophe, histoire pour le sociologue (voir par exemple l'étude de L. GOLDMAN dans le recueil *Psychologie et épistémologie génétiques.*

CHAPITRE 3

		A	S	E
3	**F**	4	7	10
2	**O**	5	8	11
1	**G**	6	9	12

la systémographie et les systèmes de représentation

1. Représentation et connaissance

Connaître l'objet ? Reconnaître un même être sous l'infinie diversité de ses aspects... Un des problèmes centraux posés à l'esprit humain... Quelle que soit la nature ultime de la réalité (à supposer que cette expression ait un sens), il est indéniable que notre univers n'est pas un chaos ; nous y discernons des êtres, des objets, des choses que nous désignons par des mots (R. Thom, 1972, p. 17). Ainsi les connaîtrons-nous : parce que nous avons pu les désigner par des mots. En créant le mot constellation, l'astronomie primitive reconnaissait des combinaisons stables d'étoiles ; le nom créé, la connaissance de l'astronomie allait pouvoir progresser à pas de géant [1]. Mais comment connaître l'objet ? Comment l'identifier ? (le reconnaître identique à autre chose ?). Comment le définir ? N'est-ce pas pour répondre à de telles questions que l'intelligence humaine écrit de temps en temps quelque nouveau discours de la méthode ? Pour s'assurer au moins qu'elle garde raison et qu'elle sait encore différencier délire onirique et connaissance raisonnée.

---

1. Exemple cité par R. W. GERARD, *in* L. WHYTE *et al.* (1969, p. 219,). R. W. Gérard a introduit pour sa part le mot *entitation : l'identification* des entités. La science par laquelle l'homme reconnaît un même être, et lui donne existence en le dotant d'un nom, unique et reconnaissable.

Même si cette connaissance raisonnée doit se fonder sur une tautologie humiliante pour la raison : *Définition : un objet est un objet... Ce premier postulat est une affirmation d'existence. Les mathématiciens aiment bien énoncer ce genre d'assertion ; elle laisse rêveur, car prononcer le nom même d'un objet implique l'existence de cet objet, dans notre pensée tout au moins* (G. P. Bruter, 1974, p. 14).

Ainsi connaîtrons-nous l'objet dit « couteau de Jeannot », dont on avait changé le manche et remplacé la lame, et qui restait pourtant le même objet, le couteau de Jeannot.

Cette méditation sur la connaissance, longtemps perçue comme devant être l'analyse de la nature ultime d'une réalité objective, conduit aujourd'hui l'intelligence contemporaine à plus de modestie : connaître devient représenter, et plus exactement même, se représenter : le concept de représentation devient central dans la théorie de la connaissance. Dans sa bivalence étymologique, il va se révéler d'une extrême fécondité : *Le concept de représentation tel qu'il est utilisé dans la théorie de la connaissance repose sur une double métaphore, celle de la représentation théâtrale et celle de la représentation diplomatique.*

La première expose devant le spectateur sous une forme concrète une situation signifiante.

La seconde (exprime) cette sorte de transfert d'attribution en vertu duquel une personne peut agir en lieu et place d'une autre...

Les deux sens sont liés...

Il y a dans la représentation comme une superposition de deux types de présence : la présence effective d'une personne, d'un objet, d'une action, et la présence indirecte, médiatisée par la première, d'une réalité qui n'appartient pas au champ de l'appréhension directe (J. Ladrière, in Encyclopedia Universalis, t. 14, p. 88).

Connaissance : concevoir le modèle au lieu d'analyser l'objet

Ainsi au lieu de *déchiffrer pas à pas de façon analytique* (H. Atlan, 1972, p. 118) chercherons-nous pour connaître l'objet à le concevoir (et donc à le représenter) comme *objet signifiant et comme organisme fonctionnant* (A. Lichnerovicz, in *IRIA*, 1971 [1].

Non plus *analyser* la réalité, mais *concevoir* le modèle, et l'agencement de signes par lequel nous sera *signé* l'objet (la

1. Le Pr LICHNEROVICZ applique, dans le texte en référence, le propos aux « produits de l'architecture ». On ne déforme pas sa pensée, me semble-t-il, en la généralisant.

représentation diplomatique) et que nous tiendrons pour *signant* l'objet (la représentation théâtrale). Le mot clef de la connaissance était hier l'analyse ; il devient aujourd'hui la conception. Concevoir, donc modéliser (ou représenter). Ainsi se resserre le champ de notre question initiale : Comment identifier l'objet ? devient : Comment concevoir un modèle de l'objet ? *Je soutiens,* proclame H. Simon (1969-1974, p. 76), *qu'une science de la conception est possible, et qu'elle est aujourd'hui en train de prendre cors.* La modélisation est, peut-être paradoxalement, une idée neuve dans la démarche scientifique (et donc dans la démarche de la connaissance et de l'action réfléchie). Mais elle est, depuis la proclamation de H. Simon, une idée de plus en plus populaire et féconde, non seulement dans le domaine des sciences sociales et des sciences de l'homme (lesquelles, fautes d'autres ressources sans doute, la pratiquaient tel M. Jourdain la prose !), mais aussi depuis peu, dans les domaines des sciences de la vie *(ces difficultés ont conduit à se tourner vers la méthode des modèles...* reconnaît le biophysicien H. Atlan, 1972, p. 118) et des sciences physiques (témoin le titre de l'excellent ouvrage des automaticiens J. Richalet *et al. : L'identification des processus par la méthode du modèle...* En 1971, lorsqu'il parut, un tel intitulé paraissait presque inintelligible. Cinq ans après, rares sont les ingénieurs qui l'avoueraient !) [1].

De l'explication à l'interprétation

Ce passage de l'analyse à la conception dans la connaissance implique un changement plus subtil des finalités de la connaissance : là où il fallait hier *expliquer* l'objet pour le connaître, il faut aujourd'hui le connaître assez, *l'interpréter* donc, pour *anticiper* son comportement : *un modèle d'un phénomène ou d'un processus est essentiellement un mode de représentation tel qu'il permette, d'une part, de rendre compte de toutes les observations faites et, d'autre part, de prévoir le comportement du système considéré dans des conditions plus variées que celles qui ont donné naissance aux observations* (P. Naslin, 1974) [2]. Qui récuserait cette définition opérationnelle du modèle, représentation par laquelle la raison humaine connaît les objets qu'elle considère, qu'ils soient *naturels ou conceptuels, concrets ou abstraits ?* (cf. J. A. Miller, 1971, p. 34).

Elle ne révèle pas pourtant le subtil passage de la représentation structuraliste à la représentation systémique que l'on a discuté au

---

1. Voir par exemple un article d'Y. ALAIN, Un apport décisif à l'identification de processus : le temps réel, in *Minis et Micros,* n° 22, 19 mars 1976, p. 8.

2. In *Rapport de conjoncture du CNRS, Automatique,* 1974, p. 164.

chapitre précédent, et on comprend que les cartésiens mal repentis, que nous sommes tous, se soient laissés prendre à la bivalence potentielle de cette définition de la modélisation : forme appauvrie de *la structure — éternelle*, invariante et analysable — de l'objet, ou représentation d'un *système* dont on méconnaît la ou les structures pour mieux connaître le *comportement ?* R. Boudon (1968, p. 95) démontrera certes *que, dans tous les cas où elle apparaît dans ce Type de contexte, la structure sera associée à une théorie de l'objet considéré en tant que système.* Mais cette différenciation de l'unique structure accessible à force d'analyse, et du modèle contingent conçu et construit artificiellement... en tant que système général, ne sera que lentement perçue et acceptée. On pourrait, sans le trahir, présenter ce livre comme un plaidoyer chaleureux pour soutenir cette cause... épistémologique.

Les systèmes ne sont pas dans la nature

L'objet considéré en tant que système ? *Nous ne savons pas comment naît la conviction qu'un objet donné est un système déterminé ou paradéterminé* (H. Greniewsky, 1960-1965, p. 7). Mais nous ne pouvons être insensibles au fait que, *dans ce monde, le « Système » est immédiatement perceptible à n'importe quel observateur de la nature. L'arrangement des parties de l'univers a toujours été pour les hommes un sujet d'émerveillement* (P. Teilhard de Chardin, 1955, p. 38). *Les systèmes pourtant ne sont pas dans la nature, mais seulement dans l'esprit des hommes :* l'illustre Claude Bernard (1865, p. 297) interprétait certes sa formule de façon négative, mais l'enthousiasme communicatif des systémiciens n'obère pas sa portée : aussi longtemps que la théorie générale des systèmes n'aura pas été universellement formulée et validée (cf. chap. II, p. 239), nous devrons en convenir [1] : le système est un produit artificiel de *l'esprit des hommes.* Ce qui ne l'empêche nullement d'être un objet particulièrement utile et commode, non pas pour expliquer mais pour *représenter* les objets que l'homme veut connaître. Cette universalité du mot même de système recouvre intuitivement une profonde expérience que transforment en conscience les modélisateurs contemporains : *Ici pas de reproduction du même motif, à l'échelle différente. L'ordre, le dessin n'apparaissent que dans l'ensemble. La maille de l'univers est l'univers lui-même*

1. En ce sens, la déclaration de L. von BERTALANFFY (1968-1973, p. 10) faisant de CI. Bernard un grand précurseur de la « conception organique » et donc de la théorie du système est quelque peu annexionniste. Il est probable que Bertalanffy n'eut que quelques accès anecdotiques à la pensée de Cl. Bernard, curieusement peu diffusée dans le monde anglo-saxon.

(P. Teilhard de Chardin, 1955, p. 39). Système métrique, système solaire, système respiratoire, système politique... voire système D : le langage humain rendait compte d'un même mode de représentation en nommant par ce même substantif des objets qu'il reconnaissait pourtant comme différents.

SYSTEMES ET MODELES [1]

« ... Quiconque conduit un travail d'analyse destiné à acquérir une vision organisée d'une classe de phénomènes, que ce soit en cherchant à bâtir une représentation formelle aussi explicite que possible, ou au contraire en s'imprégnant d'une représentation mentale laissée délibérément implicite, doit prendre une foule d'options souvent délicates qui réclame de sa part une compréhension profonde de ce qu'est un modèle et des rapports qui lient modèles et réalités... »

(B. ROY, juin 1975, p. 4,
in Vers une méthodologie générale d'aide à la décision
Rapport *METRA international* n° 87.)

C'est ce mode de représentation qu'il nous faut maintenant expliciter si nous le voulons communicable et, par là même, loyal et donc raisonnable.

2. La systémographie, mode de représentation

Le lien profond entre forme et fonction

Modéliser, c'est concevoir puis dessiner une image à la ressemblance de l'objet. Rien n'est plus confus, hélas, que cette notion de ressemblance. La caricature outrée par laquelle nous enrichissons si puissamment notre connaissance de tel sujet est-elle plus — ou moins — ressemblante que la photographie fidèle ?

Nous savons certes reconnaître la ressemblance maximum. Cette superposition parfaite que nous baptisons parfois abusivement identification. Nous savons aussi désigner une ressemblance que nous tenons pour appauvrie : l'analogie.

1. Emprunt involontaire mais significatif au titre de l'ouvrage de B. Walliser qui paraît à l'instant où je signe le fatidique « bon à tirer » du présent ouvrage (1977).

GRAPHISME ET SYSTEMOGRAPHIE

« ... N'allons pas nous imaginer que de tracer des traits soit une opération facile, anodine, arbitraire.

Seuls les héros peuvent déplacer les lignes, modifier les surfaces qui visualisent, véhiculent les forces. On peut évidemment écrire n'importe quoi, conjuguer à sa guise des droites et des courbes, mais qui oserait confondre ce gribouillage avec une œuvre, un texte ?

L'intellectuel, le sculpteur, le prêtre et le peintre, l'homme politique parfois et le planificateur — tous méritent d'être rapprochés : ils cherchent à inventer d'autres « morphologies », d'autres découpages et modalités de liaison... »

(F. DAGONET, 1975, p. 188.)

Pendant longtemps, l'analogie fut victime d'un violent ostracisme de la part de la pensée scientifique ([a]). Il fallut attendre L. Couffignal (1966, p. 73, et *in* Royaumont, 1964, p. 351) puis et peut-être surtout C. P. Bruter (1976, p. 24) pour restaurer son crédit scientifique : Percevoir, *tel est le maître mot, et l'analogie est affaire de perception.* Mais percevoir quoi ? Nous ne percevons que des formes, des éléments morphologiques ; est-ce bien ce que nous voulons représenter ? Ne serait-ce pas plutôt les comportements, les activités, les fonctions de l'objet que nous observons ? Sans doute postulons-nous un *lien profond entre forme et fonction* (C. P. Bruter, 1976, p. 44.) : *Je pense que le bond le plus important qui puisse être fait dans la plupart des domaines scientifiques est le passage de l'élément morphologique à l'élément fonctionnel*, affirme même R. Gérard (in L. Whyte et al., 1969, p. 218). Mais ce passage est aujourd'hui encore plus auguré que formalisé. Nous savons reconnaître et comparer des formes, non des fonctions, et pour modéliser, il nous faut présumer que le même signifié s'associe au même signifiant, dans le réseau des signes qui tisse nos modèles. L'intention seule du modélisateur sera notre garantie, comme elle nous sert lorsque nous rencontrons des homonymies lors de ces analogies présumées parfaites que sont les identifications.

Correspondances : iso, homo, poly... morphisme

L'intérêt de cette correspondance entre forme et fonction sur laquelle le modélisateur fonde sa démarche mérite pourtant d'être souligné. Il le libère en effet des contraintes parfois intolérables qu'imposait l'hypothèse d'une correspondance biunivoque structure-

fonction (cf. chap. 2, p. 47). L. Couffignal (*in* Royaumont, 1964, p. 351) l'avait perçu lorsqu'il montrait la fécondité des *analogies fonctionnelles* en contraste avec la pauvreté des *analogies structurelles :* il fallait cependant dépasser ce carcan cartésien : en dégageant le concept d'analogie formelle (iso – homo – poly morphisme), quelques mathématiciens-physiciens apportaient au modélisateur un repérage précieux.

On peut les définir, pour la commodité de la présentation, sous une forme ramassée qui, si elle caractérise la nature de la correspondance, ignore sa qualité, ou son intensité ([b]) :

— *Isomorphisme : Correspondance* bijective, telle qu'à tout élément de l'ensemble d'arrivée (le modèle) correspond un élément et un seul de l'ensemble de départ (l'objet) ; et réciproquement : la correspondance est transitive, réflexive et symétrique.

— *Homomorphisme : Correspondance* surjective telle qu'à tout élément de l'ensemble d'arrivée corresponde un élément au moins de l'ensemble de départ, sans que la réciproque soit vraie : correspondance transitive et réflexive, mais non symétrique.

— *Polymorphisme : Correspondance* injective telle qu'à tout élément de l'ensemble de départ corresponde un élément au moins de l'ensemble d'arrivée (pas réciproquement). Ce dernier cas (le *many - to - one - mapping*) concernera évidemment moins le modélisateur soucieux de caractériser la qualité de la correspondance pour lui unique, qu'il établit entre l'objet et le modèle [1].

L'isomorphisme apparaît ainsi au sommet de la hiérarchie des correspondances objet-modèles, et on n'est pas surpris de la vénération que lui expriment les mathématiciens : *Ce qui importe, c'est la possibilité de ces « dictionnaires parfaits », et l'isomorphie correspondante des structures étudiées. L'identité, pour le mathématicien, est remplacée par l'isomorphie et, pour faciliter son langage, le mathématicien identifie sans scrupule des objets de nature différente lorsqu'un isomorphisme l'assure qu'il ne fait que dire la même chose dans deux langues différentes...* (A. Lichnerovicz, *in* J. Piaget, 1967, p. 478). Sans scrupule, et parfois peut-être sans assez de scrupules. Car s'il est probable que *l'isomorphisme entre les phénomènes naturels explique seul le pouvoir opératoire que les mathématiques donnent à l'homme* (C. P. Bruter, 1973, p. 26), on peut

---

1. On est surpris de la rareté des définitions sérieuses de ces concepts pourtant essentiels à toute évaluation honnête de la fidélité d'un modèle. Citons pourtant R. W. ASHBY (1956, p. 94-109), qui fut sans doute le pionnier, et J. KLIR et M. VALACH (1965-1967, p. 109). Dans L. Whyte *et al.* (1969), voir aussi R. ROSEN (p. 195) et H. PATTEE (p. 163-165). La réflexion la plus fouillée et la plus précise sur la notion d'équivalence fonctionnelle est probablement due à H. SIMON (1969-1974, p. 24 +).

craindre qu'un trop grand laxisme dans l'identification de ces isomorphismes n'explique aussi l'incroyable impuissance des mathématiques à servir dans tant de situations que connaissent les hommes ! *S'il fallait dire en peu de mots ce qui nous a semblé faire le plus cruellement défaut à une connaissance économique, nous nous bornerions à... un style mathématique nouveau, peut-être une mathématique de la qualité* (G. G. Granger, 1955, p. 401) [1]. Cette mathématique de la qualité n'est-elle pas celle qu'écrivent les topologistes contemporains ? On songe à C. P. Bruter définissant courageusement *la mathématique comme une science d'observation* (1973, p. 5).

Ainsi s'entendrait la belle conclusion d'A. Lichnerovicz au terme d'une méditation sur « les mathématiques et la réalité » : *Nos modes de connaissance sont bien mathématiques : à eux sont indissolublement liés nos pouvoirs* (*in* J. Piaget, 1967, p. 484).

Cette discussion discursive sur la modélisation, mode de connaissance, était justifiée pour assurer notre prise et pour éclairer et étayer les propositions opératoires auxquelles l'expérience aujourd'hui nous conduit : Comment modéliser ? devient : Comment représenter par un système un objet identifiable par un observateur ?

Photographie et systémographie

Autrement dit : Comment établir une correspondance entre un objet identifié (une table, un groupe social, le concept de liberté... !) et un système général ? Comment représenter l'objet à travers le système ? De même que nous établissons une représentation de l'objet appelée photographie (ou radiographie) à l'aide d'un appareil dont les caractéristiques sont explicitement exposées à tous ses manipulateurs potentiels, nous établirons une « systémographie » de l'objet à l'aide de l'appareil « Système Général » [2]. Le mode d'emploi en est

---

1. G. G. GRANGER ajoute : *et une base sociologique précise.* Son propos date de 1955, mais il demeure aussi actuel, vingt ans plus tard.

2. En intitulant *Le macroscope* son ouvrage populaire sur l'approche systémique, J. de ROSNAY (1975) proposait un appareil aux qualités apparemment peu différentes de celles que nous attribuons au « systémographe » : *Microscope, télescope : ces deux mots évoquent les grandes percées scientifiques vers l'infiniment petit et l'infiniment grand. Aujourd'hui nous sommes en outre confrontés à l'infiniment complexe, confondus et déroutés par le fonctionnement des grands systèmes dont nous sommes les cellules. Pour observer et comprendre l'infiniment complexe il nous faut donc un nouvel outil : le macroscope.* Ce macroscope est hélas assez peu défini et son mode d'emploi n'est guère précisé. En outre, s'il satisfait au « nouveau deuxième précepte », en réaction contre les *dissections microscopiques des objets* (cf. chap. I, p. 14), il n'a guère d'autres ambitions : l'évidence est une certitude, comme le déterminisme causaliste, et le globalisme n'exclut pas l'exhaustivité. Aussi a-t-il paru préférable d'accuser loyalement l'option différente, plus radicale et par là plus rigoureuse que l'on préconise ici en donnant un autre nom... à un autre outil !

relativement simple : la représentation que construit l'observateur sera à la fois :

1/ Isomorphe du Système Général.

2/ Homomorphe de l'objet à représenter.

La vérification de l'isomorphie sera facile puisque le Système Général, construction artificielle, est doté de propriétés connues par construction : en les balayant une par une, il doit être possible de s'assurer que les propriétés dont on dote le modèle sont bien en correspondance bijective avec celles du Système Général : un objet qui, doté de finalités, fonctionne se structure et évolue dans un environnement.

L'homomorphie du modèle et de l'objet sera difficile et *a priori* jamais parfaitement validée (pour qu'elle le soit, il aurait fallu que *les systèmes soient dans la nature* et que nous en ayons la preuve !). On ne pourra que s'assurer de l'existence d'une correspondance entre chacun des traits [1] dont on a doté la systémographie de l'objet et d'un trait identifiable que l'observateur déclarera percevoir ou anticiper au sein de l'objet à représenter.

Il sera donc *a priori* toujours possible de concevoir et de construire bien des systémographies différentes du même objet, toutes homomorphes de cet objet et toutes isomorphes du Système Général. (De même, si l'image peut éclairer, que l'on peut, à l'aide d'un même appareil photographique ou radiographique, établir bien des photos ou des radios différentes d'un même objet, photos ou radios qui seront cependant dotées de caractéristiques, prédéterminables et ne dépendant que de l'appareil utilisé, l'interprétateur, chirurgien ou détective, sait d'avance qu'il raisonnera en postulant ces permanences, techniques ou méthodologiques, dans l'examen ou la comparaison du ou des clichés... du ou des modèles.)

Qu'il s'agisse d'une lame de verre (cf. Th. Vogel, 1965, p. 2) représentée par des systèmes optique, élastique ou diélectrique, ou d'une organisation sociale représentée par des systèmes institutionnalo-politiques, socio-affectifs ou économico-politiques, chacun des modèles possibles présente ainsi deux caractéristiques fondamentales de conception :

Il doit être isomorphe d'un autre objet-modèle, donné à l'avance, et soigneusement défini : le Système Général.

Exemple significatif des options du modélisateur et de sa réflexion sur les seuils à partir desquels une analogie devient un homomorphisme.

1. Le concept de *trait* d'un objet à modéliser a été judicieusement formalisé par G. Krix (1968, p. 51) en particulier.

Il doit être homomorphe de l'objet à représenter : on doit donc pouvoir faire correspondre à chacun des traits dont on le dote un trait perçu ou anticipé de l'objet considéré.

Le mode d'emploi du systémographe (l'analyse de système)

La figure 3.1 illustre la démarche de base de la conception des systémographies. Il semblera sans doute trivial à beaucoup de lecteurs ; on voudrait attirer leur attention sur son originalité : il rend compte de la seule nécessité imposée à la modélisation systémique. Elle peut — la différence de la modélisation cartésienne — laisser divaguer l'imagination de l'observateur à sa guise, dès lors qu'il assure en permanence de la validité de ces deux correspondances : isomorphie avec le Système Général, homomorphie avec l'objet considéré. Soulignons à nouveau que cette démarche n'impose nulle

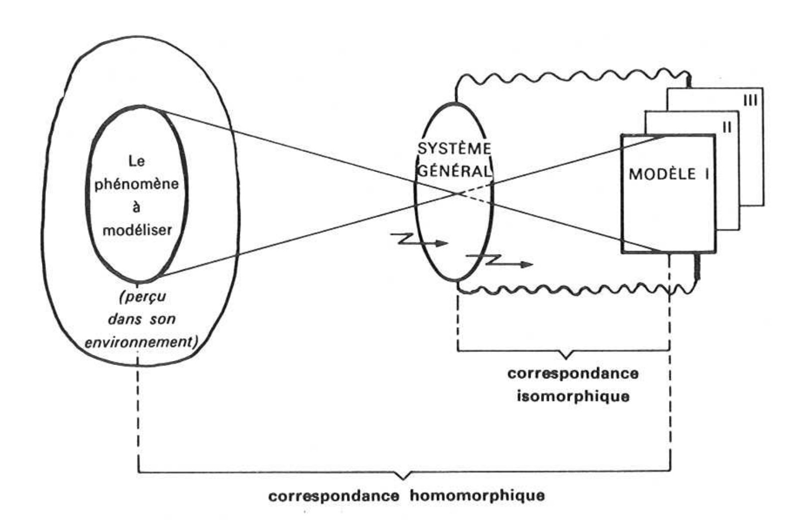


FIG. 3. 1. — *La* SYSTEMOGRAPHIE *:*
Le modèle homomorphe de l'objet à modéliser est isomorphe du Système Général et est donc doté de toutes ses propriétés

nécessité naturelle au système : il n'est que *dans l'esprit des hommes.* Mais il importe qu'il y soit explicitement, publiquement, loyalement. La communication sociale, et donc la probité intellectuelle, exigent ce prix.

Ce mode d'emploi du Système Général reçoit souvent, dans la langue contemporaine un nom populaire aux connotations hélas malheureuses : la conception systémique des modèles est fréquemment baptisée « analyse de système », voire « approche système » [1]. Ultime tentative de récupération de *l'analyse* cartésienne qui, cédant sur le précepte du réductionnisme, se confortait ainsi tacitement sur les trois autres préceptes ? On peut le présumer, et bon nombre des difficultés des communications en matière de modélisation (pour les uns, de résolution pour les autres) reposent sans doute sur cette ambiguïté de l'analyse de système considérée comme un cas particulier (et appauvri) de l'analyse cartésienne. L'enjeu pourtant n'est plus d'analyser, mais de *concevoir* des modèles. Il importe de le faire en minimisant les ambiguïtés et en annonçant au mieux les *a priori* de cette conception : un nouveau discours de la méthode, un paradigme systémique, un objet artificiel de référence, le Système Général, que nous doterons de propriétés articulées en une théorie [2]. L'expression « analyse de système » est sans doute aujourd'hui entrée dans le langage. À son abri, il est temps encore d'en faire accepter une définition loyale, celle que nous avons proposée de la systémographie : *La conception de modèles isomorphes du Système Général.*

Objectifs et niveaux de résolution en systémographie

L'analogie photographie — systémographie permet incidemment une remarque utile en pratique, relative aux vertus simplificatrices du choix des « niveaux de résolution » ... ou encore du choix des *objectifs : les* deux sens de ce mot (le photographique et le philosophique) sont particulièrement révélateurs de l'intention. En fonction de ses propres *objectifs,* l'observateur choisit... son *objectif* pour mieux se représenter la réalité dans laquelle il intervient. De nombreux chercheurs ont tenté en vain de cerner les considérations

---

1. B. et M.-A. LEBLANC ont proposé une heureuse traduction de l'anglo-saxon *System approach* en intitulant *L'analyse par les systèmes* leur traduction du célèbre ouvrage de C. W. CHURCHMAN (1968-1975). G. A. SEILER (1967, p. 194) a proposé « système d'analyse » à la place d'analyse de système, mais sans grande conviction. Il ne semble pas que son message ait été entendu.

2. Ainsi commentera justement G. KLIR (1969, p. 93) : *Le Système Général n'aura pas en tant que tel d'interprétation concrète, mais il satisfera à toutes les exigences du modèle à considérer.*

intrinsèques pouvant guider le choix de ce niveau de modélisation [1]. Ils furent tous conduits à cette reconnaissance élémentaire : Il dépend des objectifs du modélisateur ! Ce dernier, étant habituellement économe sinon paresseux, recherche volontiers les résolutions les plus simples et, pour ce faire, il cherche à repérer les zones qu'il perçoit comme faiblement tissées (ou interconnectées). Elles guideront habituellement la différenciation des niveaux de résolution possible, sans imposer la sélection de celui ou de ceux que le modélisateur retiendra.

3. Les systèmes de représentation

La conception du SR

En différenciant, dans la démarche modélisatrice, la ressemblance en une isomorphie exhaustive avec un objet précis mais arbitraire et artificiel, et une homomorphie nécessairement partielle avec l'objet perçu à modéliser, nous avons rendu plus explicite le rôle discrétionnaire de l'observateur : c'est lui qui sélectionne les traits qui, par homomorphisme, dessineront le modèle. Il ne peut pas, dès lors, proclamer comme Descartes : « *Ma pensée n'attribue aucune nécessité aux choses* » [2].

Percevoir un objet c'est nécessairement lui attribuer quelques nécessités (nous dirons bientôt : quelques *finalités*).

Le nier est illusoire : chaque objet, chaque trait de chaque objet, pour nous, n'est pas évident, mais pertinent par rapport à l'intention que nous lui prêtons [3]. Implicitement sans doute, mais qui interdit au

---

1. Cf. p. ex., G. KLIR, 1969, p. 40 ; M. MESAROVIC *et al.*, 1970, p. 40 ; G. M. WEINBERG, 1975, 13- 157 ; J. Van GIGCH, 1974, p. 25.

2. In *Méditation*, V, cité par G. RODIS-LEWIS, 1966, p. 74, qui reproduit quelques autres commentaires de DESCARTES, révélatrice de l'intuition qu'il eut du caractère insoutenable de cette proposition.

3. C'est sans doute cette remarque que voulait mettre en valeur un des plus fins théoriciens de la systémique par une définition laconique et déjà ancienne que je tiens pour une des meilleures du concept de système avant que ne soit différencié le concept de Système Général : *Toute forme agencée (pattern) d'activités dans un réseau tenu pour cohérent par quelque observateur est un système* (G. PASK, in *Cameron-Yovit,* 1960, p. 233).

modélisateur d'expliciter ses intentions. Puisqu'elles seules permettent une perception identifiable, n'est-il pas plus fécond de les rendre publiques, et de les exposer avant même d'exposer le ou les modèles auxquels elles nous auront conduit ?

N'y sommes-nous pas acculé par une autre considération l'observateur modélisant doit pouvoir lui aussi être systémographié comme tout autre objet, fût-ce par lui-même ? Il se construit ainsi un modèle systémique de lui-même, qu'il doit pouvoir identifier et dont il doit donc décrire les finalités et l'environnement : ce modèle de l'observateur, isomorphe à son tour du Système Général, sera le Système de Représentation inhérent à toute systémographie [1]. Un tel Système de Représentation se conçoit et donc se construit, se modifie, se perfectionne [2]. On peut s'étonner que cette entreprise, si évidemment essentielle pour chaque observateur, soit encore si tacite, si peu explicite, si aliénée par une culture ancienne. Quel enseignant, quel journaliste se considère comme responsable de l'apprentissage de la conception des innombrables systèmes de représentation que chaque être humain, chaque groupe social met — ou pourrait mettre en œuvre, pour observer, et donc pour modéliser [3].

L'engouement que connaît aujourd'hui le concept de *problématique* est sous ce rapport relativement salubre. Que traduit-il d'autre que la volonté d'une réflexion plus exigeante sur la façon de « poser les problèmes », autrement dit de percevoir et de représenter les perceptions des objets que l'on considère ? H. Simon (1960, p. 3) est particulièrement bien fondé à nous proposer d'appeler

---

1. Ainsi, commentera P. DELATTRE (1971, p. 180), *on peut dire que tout ce qui touche à l'entendement est système, à commencer par le système le plus élémentaire, mais non le plus simple, que constituent le sujet connaissant et l'objet qu'il appréhende globalement*.

2. C. W. CHURCHMAN, 1971, en publiant : *The design of inquiring systems*, a probablement été le premier à tenter une formalisation explicite de la « conception des systèmes de représentation » (cf. en particulier p. 47). Parmi ses exégètes, MASON et MITROFF (1973, p. 480) ont bien mis en évidence l'intérêt des cinq grands archétypes que furent les systèmes de représentation préconisés par les cinq penseurs sélectionnés par Churchman : Locke, Leibniz, Kant, Hegel... et son maître Singer. On montrerait sans peine que les principes directeurs de la conception des systèmes cognitifs de représentation avaient été peu auparavant déjà formalisés par H. A. SIMON dans *La Science des systèmes, science de l'artificiel* (1969-1974), en particulier au chapitre II : Plus et mieux que Churchman, Simon prend en compte, pour dessiner notre système de représentation, l'ensemble des connaissances que nous apporte aujourd'hui la psychologie cognitive, en particulier les limitations fonctionnelles de la physiologie cérébrale. N'avait-il pas, dès 1958, révélé les nécessaires limites de l'exercice de la rationalité dans les organisations (MARCH et SIMON, 1958-1964, p. 163).

3. J.-L. RIGAL (1974) montre ainsi de façon très convaincante l'appauvrissement de la représentation systémique d'une économie nationale provoquée par l'inconscient concepteur de ce Système de Représentation qui a engendré le modèle du « Produit national brut ». Que d'hypothèses fortes sur les finalités de la nation dissimule ce modèle qui se présente naïvement comme un simple mode de calcul ! Que de finalités à jamais inaccessibles par le seul exercice de ce modèle !

intelligence [1] ces phases de la pensée raisonnante qui précèdent nécessairement les phases de *conception :* Ainsi cherche-t-on à se faire « l'intelligence d'une situation » : à se construire le Système de Représentation par lequel on la modélisera. *L'intervention sur un système doit, elle-même, être conçue comme un système,* précise J. Mélèse (1972, p. 79) en une formule heureuse.

L'utilisation du SR

Par conception même, le Système de Représentation *intervient* donc dans toute systémographie : ce médium, isomorphe d'un Système Général, entre l'objet et le modèle systémique doit être perçu

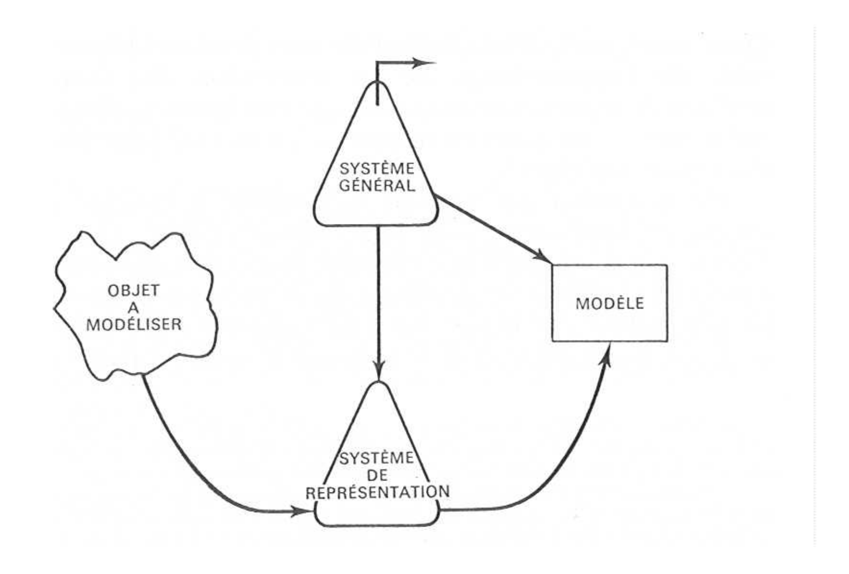


FIG. 3.2. — *Le SYSTEME DE REPRESENTATION*
Lui-même isomorphe du Système Général
transforme l'objet à modéliser en un modèle communicable

explicitement (dans sa subjectivité, *l'artificiel imprégnant le naturel* (H. Simon, 1969-1974, p. 39)) dans son intervention. Sa considération

1. H. Simon précise qu'il emprunte le mot au vocabulaire militaire anglo-saxon, en privilégiant ainsi cette interprétation « investigatrice » de l'intelligence. (L'humour veut *qu'Intelligence Service* se traduise en français par « SR » (Service du Renseignement des Armées) : les initiales restent celles de Système de Représentation ! On se gardera bien de pousser plus avant l'analogie, en lui demandant seulement une assistance mnémotechnique !)

nous conduit à modifier le schéma de base de la systémographie (cf. fig. 3.1), au profit de celui de la figure 3.2 : l'intervention de l'observateur se percevant comme un système va exprimer *l'intentionalité* de la connaissance. Là où nous postulions hier une existence de l'objet, il nous faut convenir aujourd'hui de son *axistence.* Le jeu de mots peut aider à souligner l'intentionalité d'une perception qui privilégie quelques axes (quelques valeurs, disent les axiologistes : nous ne récuserons pas cette référence philosophique pour étayer l'argument).

Cette intentionalité pourtant n'est pas désincarnée : dans un traité méthodologique à l'usage des hommes d'étude et d'action, nous n'échappons pas sans doute à quelques méditations sur les fins. Elles nous ramènent toujours à l'action, à ses enjeux à ses audaces et, parfois, à sa modestie :

Connaître ne consiste pas en effet à copier le réel, mais à agir sur lui et à le transformer [1]*, aux moyens d'actions manifestes ou intériorisées... Connaître c'est agir sur l'objet en l'assimilant à un schéma* (C. Florès, 1972, p. 33).

Cette action de connaissance n'est neutre ni pour l'objet, ni pour l'observateur, condamné à toujours re-concevoir ses modèles. Nul ne l'a mieux perçu que le grand biologiste Th. Dobszhansky (1961-1966, p. 391) :

En changeant ce qu'il connaît du monde
l'homme change le monde qu'il connaît ;
En changeant le monde dans lequel il vit,
l'homme se change lui-même.

Saurons-nous retrouver quelques convergences dans cet éternel enroulement spiralé de la conception des concepteurs et de leurs modèles ? Ce livre prétend y contribuer.

Il lui faut pour cela développer maintenant « ces lois de la conception et de la construction des modèles d'objets » qui guideront le modélisateur qui *seul sait que le monde évolue et qu'il évolue avec lui...* comme il sait *qu'il n'est pas le centre matériel de l'univers* (T. Dobzhansky, 1961-1966, p. 391).

Ces lois seront les propriétés du Système Général, que détaillent les trois autres parties de ce livre. Sauront-elles nous garantir l'accès à *une pensée qualitative rigoureuse* (cf. R. Thom, 1972, p. 22). Telle est en tout cas l'intention du Système de Représentation qui conçoit et rédige le modèle systémique que veut être ce livre !

*
*   *

---

1. C. Florès emprunte cette formule à J. PIAGET (1967).

▶ Relecture

À l'exception du graphisme du schéma représentant « l'appareil à systémographier » (fig. 3.1), on n'a ajouté que des modifications très minimes au texte initial de ce chapitre. On aurait peut-être pu proposer une rédaction plus prudente, ou plus complète, du paragraphe consacré aux systèmes de représentation ? Ce concept, en effet, n'est pas encore très stabilisé, et se prête à diverses interprétations (en linguistique, en psychologie, en sociologie, en intelligence artificielle, etc.). Les spécialistes correspondants se considèrent en conséquence comme seuls propriétaires de sa définition. L'interprétation très générale qu'on avait retenue ne devrait pas, à la réflexion, contraindre ou appauvrir celle des spécialistes : il n'y a pas de modélisation sans modélisateur, et il est loyal que ce dernier se reconnaisse comme tel, en convenant qu'il sera lui-même considéré par un autre modélisateur travaillant à l'aide d'un des modèles qu'il avait conçus ! La règle du jeu systémique de cette *boucle étrange* du modélisateur modélisé ne gagne-t-elle pas à être exploitée ? On a par ailleurs suffisamment insisté sur la modélisation et sur son instrumentation dans l'Introduction à la seconde édition, pour qu'il ne soit pas nécessaire d'y revenir à nouveau ici, sinon pour mentionner une étude récente de H. von Foerster qui conforte et argumente richement la thèse que l'on a retenue ici : « Pour une épistémologie constructiviste » [1].

Notes complémentaires pour la deuxième édition

([a]) On dispose maintenant d'une riche étude sur le thème *Analogie et connaissance* publiée en 1980 (sous ce titre, deux tomes) sous la direction de A. LICHNEROWICZ, F. PERROUX et G. GADOFFRE, qui rassemble des travaux fort pertinents. Il ne semble pas cependant que la supériorité conceptuelle de l'analogie fonctionnelle sur l'analogie organique ait été mise en valeur dans ces recueils.

([b]) La discussion de la « qualité » d'un modèle peut sans doute être développée à partir de la notion d'« échelle » (« Le problème de l'échelle est le problème fondamental de toute connaissance », assure E. MORIN, 1982). On doit à Philippe BOUDON (1971, 1977, p. 51 +) une réflexion très riche sur le caractère fondamental du concept d'échelle en architecturologie (et donc, je crois, en modélisation en général).

1. Dans les *Cahiers de la Fondation Archives Jean-Piaget*, n° 2/3, 1982, p. 89-216.

DEUXIEME PARTIE

le système général, modèle de l'objet ACTIF

« L'essentiel est de reconnaître que le sens d'une action ne se réduit pas à l'adaptation de l'acteur à un système. »

(A. TOURAINE, 1965.)

« Nous raisonnons toujours sur des modèles. »

(Paul VALERY, *Cahiers.*)

« Si l'œil perçoit l'ossature ogivale comme une structure, ce n'est pas tellement parce qu'elle laisse pressentir de l'ordre constructif caché, mais parce que cette ossature apparente a été délibérément conçue comme modèle, et comme modèle constructif, destiné non pas aux seuls spectateurs que nous sommes, mais aux bâtisseurs eux-mêmes. »

(Claude LEVI-STRAUSS, 1964.)

« La boue sémantique au-dessus de laquelle nous voltigeons salubrement d'algorithme en algorithme, accrochés à des cordes de mots, me paraît mériter d'être connue de plus près. Il faudra bien y plonger pour forger les concepts nouveaux qui manquent. »

(Miora MUGUR-SCHLACHTER, 1979.)

« Les méthodes logiques qui sont utilisées, faute de mieux, en cybernétique appartiennent à la vieille tradition ontologique ; elles ne sont pas assez puissantes pour rendre compte des aspects actuels de la Réalité. »

(G. GUNTHER, 1962.)

« Un système est une grosse boîte noire dont on ne peut ouvrir les fermoirs. Tout ce que l'on peut indiquer le concernant est ce qui en sort, et ce qui entre dedans. »

(K. BOULDING, 1972.)

CHAPITRE 4

		A	S	E
3	**F**	**4**	7	10
2	**O**	5	8	11
1	**G**	6	9	12

l'environnement tapissé de processus temporels

1. La décomposition triadique de toute fonction

Accorder la suprématie au temps

L'objet existe dans le temps. Nous lui accordons au moins cette *nécessité* dès lors que nous nous proposons de nous le représenter par quelques *traits.* Il nous faut donc disposer de concepts assez familiers pour rendre compte commodément de cette hypothèse fondamentale. *La concorde et la discorde, la guerre et la paix, la justice et la lutte, l'écoulement du fleuve et la mélodie de la lyre ont lieu dans le temps* (K. Axelos, 1971, p. 54.). C'est le service que nous demandons à la notion de *processus* qui connaît depuis quelque dix ans une mode durable et compréhensible : Représenter et communiquer des représentations sans pouvoir *accorder la suprématie au temps* (K. Axelos, 1971, p. 55) devenait un exercice quasi impraticable à l'aide des concepts analytiques classiques qu'avaient forgés les mécaniques rationnelles ou statistiques qui guidaient hier nos démarches modélisatrices.

Il n'est pas surprenant que ce soit les chercheurs en sciences sociales qui, de A. R. Radcliff-Brown (1968, p. 264, texte original, 1935) à T. Parson (1960, et plus généralement dans G. Rocher, 1972, p. 216) aient les premiers déployé le concept de processus en lui donnant une autre envergure que celle retenue initialement par les physiciens trop inhibés encore par le concept de fonction qui leur était familier. Ainsi le caractère beaucoup trop restrictif, strictement causaliste et réversible de la définition initialement formulée par l'automatique : *nous appellerons processus... un ensemble physique susceptible d'évoluer en fonction d'une variable indépendante*

appelée temps (J. Boudarel *et al.*, 1967, p. 5). Le biologiste J. Miller (1965, p. 209) libérera la définition de sa restriction causaliste en proposant : tout changement dans le temps de matière, d'énergie ou d'information est un processus. Et il fera percevoir l'ambiguïté d'une définition faisant du temps l'explication du changement en mentionnant le caractère factice, bien que parfois commode, de la notion limite de processus réversible : si l'équation décrivant un processus dans le temps est la même, que la variable temporelle soit positive ou négative, le processus est réversible. Sinon il est irréversible. Nous nous épargnerons la précision : le temps a une flèche, la même flèche ; pour modéliser, nous posons le principe universel de l'irréversibilité (O. Costa de Beauregard, 1963, p. 103).

Le référentiel Temps-Espace-Forme

Le *changement* irréversible dans le temps ? N'avons-nous pas substitué deux abstractions, et joué une fois encore avec les mots, changement remplaçant processus. sans lui apporter précision ou nuances ? On voudrait montrer ici qu'il n'en est rien et que ce concept de changement (nous dirons bientôt : de *processement*) véhicule une aptitude à l'opératoire qui s'avère féconde et quasi permanente pour le modélisateur.

Parler de changement, c'est considérer le changement de quelque chose par autre chose : explicitement nous postulons l'existence de deux familles d'objets identifiables et différents dès lors que nous évoquons un quelconque changement : l'objet changé (nous proposerons : *processé*) et l'objet changeur (nous proposerons *processeur*).

Qu'il s'agisse de matière, d'énergie ou/et d'information, l'hypothèse du changement dans le temps implique une vision du monde dichotomique ([a]) : les processés d'une part, les processeurs de l'autre, les contenus et les contenants, les actionnés et les acteurs. Et nous convenons volontiers que nous connaissons (donc que nous nous *représentons*) le changement par les modifications que nous observons, ou que nous pressentons, ou attribuons, ou anticipons dans les *formes* des objets processés.

La puissance modélisatrice du concept de processus tient à l'étonnante simplicité de la typologie des changements : un objet (ou une famille d'objets) processé étant identifié, son processement pourra toujours être repéré sans ambiguïté dans un référentiel triadique permanent. Agir, ou intervenir, sur un objet donné c'est affecter sa position dans le *temps* toujours, puis souvent dans *l'espace* (le transport ou la transmission) et/ou dans ses *formes*, dans sa morphologie (la transformation). Faire, agir, traiter, intervenir, fonctionner, changer donc, c'est toujours affecter la position d'au

moins un objet dans un *référentiel* TEF : *Temps, Espace, Forme.* Le processus se définit ainsi de façon quasi concrète et bien des complications dans l'examen disparaissent : l'ensemble ordonné des changements affectant la position dans le temps, dans l'espace, dans leur forme, d'une famille au moins d'objets identifiés (cf. fig. 4.1.).

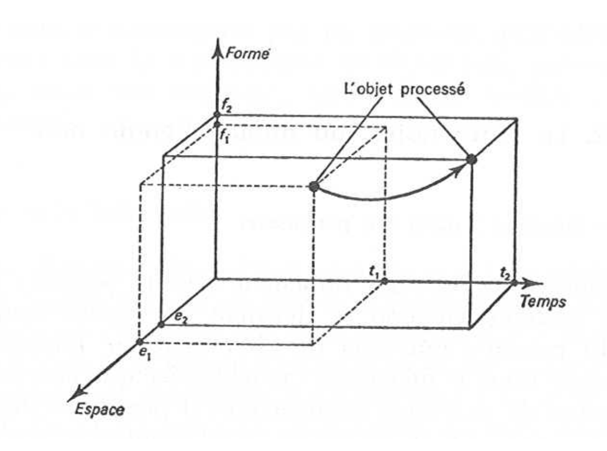


FIG. 4.1. — *Le référentiel TEF (Temps, Espace, Forme) permettant de repérer la position des objets soumis à des processus (décomposition triadique des fonctions)*

Étant donné un phénomène dont on fait l'hypothèse qu'il doit pouvoir être représenté par un processus, la question du modélisateur devient : Comment affecte-t-on la position des objets processés sur un référentiel triadique TEF ? S'agit-il d'un stockage (ou d'une mémorisation), d'un transport (ou d'une communication), d'une transformation ou d'un traitement ou d'une combinaison de ces trois types d'interventions ? Quiconque s'exerce à reprendre dans ces termes quasi naïfs bien des présentations de phénomènes complexes s'étonnera souvent du pouvoir descriptif de la modélisation des processus dans le référentiel TEF. C'est à elle en particulier que l'on doit la fécondité modélisatrice de la systémographie. Elle propose un *art de diviser* les difficultés, qui manquait souvent à nos schémas traditionnels d'analyse (elle accuse, en même temps, l'importance d'une autre difficulté : celle de *l'identification* de l'objet à modéliser, dont la solution est bien moins *évidente* encore que celle de son éventuelle réduction en *parties*).

Que l'on parle de processus intellectuel, ou cognitif, ou relationnel, de processus économique, ou politique, de processus énergétique, ou biologique, ou informationnel, on évoque toujours à la fois une dualité : objets processés — objets processeurs, et une description des changements affectant, dans le temps, dans l'espace ou dans leur forme, les objets processés. L'exercice est simple dès lors que les règles en sont posées et le lecteur poursuit aisément pour lui-même ses premiers travaux pratiques de systémographie.

2. La boîte noire, ou mieux, l'engin noir

Le Système Général : dans les processus

Ces rappels en effet nous ramènent à notre propos : les propriétés du Système Général se devaient de rendre compte, en priorité, du principe universel de l'irréversibilité temporelle sur lequel s'appuie toute la démarche modélisatrice que l'on préconise.

Le concept de processus étant acquis, il permet le développement de la théorie de la modélisation quasi spontanée : *une hypothèse fondamentale de la Théorie du Système est que tout modèle d'un objet dans son contexte, autrement dit tout modèle du « comportement », peut être conceptualisé comme un processus* (F. Betz et I. Mitroff, 1974, p. 1243). La formule ne précise pas si *l'objet dans son contexte* doit être considéré comme l'objet processé ou l'objet processeur, si le comportement est subi ou exercé, et cette imprécision va obérer la rigueur d'expression de bien des auteurs qui se référeront à cette représentation *behavioriste* des objets. Si, en revanche, cette dualité est expressément prise en compte, la modélisation par un processus s'avérera féconde : « *la notion centrale, ici, est celle d'activité, et toute activité peut être conçue comme un processus... Il n'y a pas de différence en ce sens entre les objets animés et les objets inanimés* » (F. Betz et I. Mitroff, 1974, p. 1244.). Représenter l'objet inanimé dans une activité ? Tel est le paradoxe délibéré de la modélisation systémique. Il n'est pas inactif puisque nous le considérons comme changeant au moins sa position dans le temps, donc comme soumis à un processus temporel. La considération plus générale des objets animés nous conduira simplement à les tenir à la fois comme soumis à un processus et comme actifs dans un autre processus, habituellement différent. J. Miller (1965, p. 209) développera cette dualité lorsqu'il

précisera : *le processus inclut l'activité d'un système*[1]*... et son histoire, autrement dit les changements qui en ont altéré la structure.*

L'action exercée par l'objet (par laquelle il est présumé avoir altéré le reste du monde (son contexte)) et l'action subie par l'objet (exercée par quelques autres objets du reste du monde) ont altéré sa forme sinon sa nature, irréversiblement selon la flèche du temps ; le concept de processus implique cette dialectique dans la représentation de l'objet. Il ne nous intéresse plus d'abord par ce qu'il *est* mais par ce qu'il *fait* et ce qu'il *subit,* donc par ce qu'il *devient ;* nous le connaissons par les processus qu'il affecte ou qui l'affectent ; nous le représentons de l'extérieur, par ses comportements, dans son contexte ; nous dirons bientôt : dans son *environnement*[2].

La règle de la boîte noire

Nous disposons alors d'une règle de représentation de l'objet dans un processus qui s'est révélée d'une exceptionnelle fécondité depuis que les cybernéticiens l'ont restaurée il y a plus de trente ans, en la dotant d'ailleurs d'un nom malheureux par les connotations de statisme, d'inaction, qu'il implique : la règle de la *boîte noire* (cf. fig. 4.2), dont G. Klir (1969, p. 268) considère fort justement qu'elle constitue un des aspects épistémologiques les plus fondamentaux de la théorie du Système Général.

Son énoncé est succinct : tout objet identifiable l'est *a priori* dans des processus, et on le représentera au sein de ces processus (qu'il y soit acteur ou agi, ou les deux), par ses transactions à chaque instant avec ces processus ; non pas une boîte noire passive et fermée, mais un *engin noir*, recevant, ou prélevant, d'autres objets actionnés par les processus : *les intrants*[3] à l'instant *t*[IN(*t*)], et les émettant ou

---

1. Je traduis par activité : *on-going function*, J. Miller notant soigneusement quelques lignes plus loin qu'il importe de ne pas confondre le mot *function* tel qu'il l'utilise avec celui dont l'usage est courant en mathématique. Le mot activité permet d'éviter bien des connotations de fonction, tout en rendant compte de l'image centrale : celle du fonctionnement, de l'action, du processement.

2. Environnement ou situations ? Citons H. OZBERKHAN (1975) : « *Récemment le mot environnement a été tenu comme trop statique. On se réfère de plus en plus à des situations pour décrire des environnements changeant constamment, cette expression connotant un environnement dynamique fait d'une conjoncture d'événements.* »

3. Entrée et sortie traduisent l'anglais : *Intrance* et *Exit*, et non pas Input et Output que les Canadiens français proposent de traduire par *Intrant* et *Extrant*. Je tiens ces expressions pour très satisfaisantes parce qu'elles s'abrègent par *IN* et *EX* et qu'elles rendent bien compte du *mouvement* impliqué par *Input-Throughput-Output* : l'intrant, le traversant et l'extrant (à la différence d'entrée, sortie, qui imagent la porte statique, plutôt que le flux).

les restituant après processement : les *extrants* [1] à l'instant *t*[EX (*t*)]. L'imagerie mécanique ne sert ici qu'à stimuler l'imagination : cette règle de la boîte noire se prête indifféremment à la modélisation d'un objet conceptuel et abstrait, ou d'un objet concret, voire d'un Système de Représentation. Par son universalité et sa compatibilité avec les fondements épistémologiques que l'on a retenus, la règle de la boîte noire va devenir la première règle de la systémographie : c'est elle qui va nous fournir la définition phénoménologique de l'artefact Système Général que nous devons caractériser.

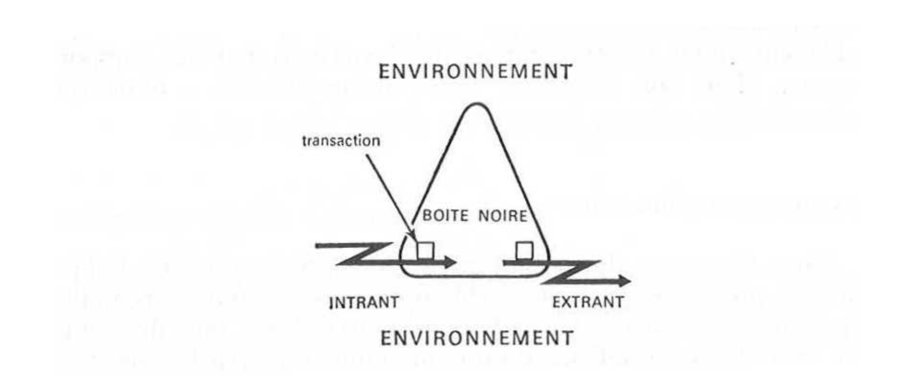


FIG. 4.2. — *La boîte noire, outil de représentation universel des objets identifiables dans un processus*

Le Système Général a un comportement dans un environnement. Il reçoit et émet, au fil du temps, d'autres objets qu'il processe (changement TEF) et il est lui-même objet soumis à des processus temporels environnementaux. (Il n'est donc pas nécessairement invariant dans un référentiel TEF.)

Le système fermé, cas limite

Le Système Général possède un cas limite très (trop ?) fréquemment utilisé. Le cas où l'environnement est vide, où le système englobe le processus ; le cas où l'engin noir devient la boîte noire ; autrement dit le cas où le système est fermé, servant alors à représenter un objet ou un phénomène considéré comme n'extériorisant aucun comportement et comme parfaitement et

1. *Ibid.*

uniformément stable. La tentation de proposer cette convention afin de bénéficier des facilités modélisatrices du système fermé a été et est encore très forte dans la plupart des entreprises de modélisation. Elle s'était en effet révélée féconde en physique en particulier.

C'est en butant sur ses limites en biologie que L. von Bertalanffy fut conduit vers 1930 à identifier d'abord le concept complémentaire de *système ouvert* puis, vers 1940, à en universaliser la portée en introduisant le concept de *Système Général* (qu'il envisagea d'ailleurs de baptiser : système universel). L'école systémique polonaise proposera la désignation de *système quasi isolé* [1], qui n'est restrictive qu'en apparence, pour mieux accuser la spécificité de l'intervention de l'objet dans ou sur quelques processus identifiés. *Par système quasi isolé, on entend tout système qui possède les deux caractéristiques suivantes : 1/ il est influencé par le monde extérieur, mais seulement selon certains processus déterminés que l'on appelle intrants ; 2/ il exerce une influence sur le monde extérieur, mais seulement selon certains processus déterminés que l'on appelle extrants* (H. Greniewski, 1960-1965, p. 1. Voir aussi O. Lang, 1960-1965, p. 18) [2].

Le modèle fondamental de la boîte noire fut, rappelle G. Klir (1969, p. 99), porté sur les fonts baptismaux par le plus puissant peut-être des cybernéticiens, R. W. Ashby (1956, p. 86). Ce parrainage contribue à l'obérer quelque peu, dans la mesure où l'interprétation correspondante fut aussi *causaliste q*ue possible (ce dont G. Klir, p. 270, se félicite au demeurant !). Il faudra attendre A. Wilden, 1972, p. 359, pour disposer d'une critique sévère de ce point de vue dans la littérature anglo-saxonne. Mais grâce à J. Melèse qui fut le principal introducteur de la pensée de R. Ashby en France, cette contrainte potentielle de modélisation semble moins vivace en environnement francophone qu'anglophone. Après avoir retenu une même définition du concept de système que celle que nous avons proposée ici : un *système est quelque chose qui opère une transformation entrée-sortie* [3] (J. Melèse, 1972, p. 55), il précise en effet (p. 58) : il se peut que *l'on ignore la correspondance entrée-sortie : le système se présente comme une boîte noire* (black-box), *c'est-à-dire une boîte munie d'entrées et de sorties, mais dont on ne sait pas prédire les valeurs des sorties à partir de la valeur des entrées.* Le psychologue américain F. K. Berrien (1968, p. 32) proposera une définition

---

1. Je crois que l'on traduirait plus correctement en parlant de système *relativement* isolé.

2. La littérature professionnelle tente de proposer des distinctions plus fines entre, par exemple, les systèmes fermés (qui n'interdiraient que les échanges de matière) et les systèmes isolés, qui interdiraient tout échange (de matière, d'énergie ou d'information). Cf., p. ex., L. NIKOLAÏEV, 1973, p. 10. Il ne me semble pas que ces distinctions soient très opérationnelles.

3. Dans la formulation que nous avons retenue, il vaudrait mieux dire : un processement intrant-extrant, en réservant transformation au processement affectant exclusivement les formes.

pragmatique qui conforte notre propos : les systèmes qui défient les descriptions habituelles, ou qu'il n'est pas commode de décrire, peuvent être traités comme des « boîtes noires » sans invalider l'analyse. La formule est quelque peu négative et révélatrice de l'interprétation de type « moindre mal », voire « inavouable », de la systémographie telle que la tolèrent les derniers cartésiens, mais elle assure au moins un garde-fou minimal pour le bon usage de ce concept.

3. La dualité flux-champs

Les processus : flux et champs

La représentation de l'objet intervenant à la fois *sur* et *dans* divers processus légitimait une différenciation *a priori* des processus, qui prenne en compte cette dualité et qui permette le cas échéant de privilégier celui des termes que le Système de Représentation préférait privilégier : le fonctionnement, l'activité immédiate quasi visible, l'intervention active, intentionnelle, ou plutôt l'évolution, les transformations internes, voire les mutations, les ruptures d'équilibres qui, bien que n'affectant pas la nature, l'unicité de l'objet représenté, peuvent concerner ses formes et ses comportements.

La physique livrait aux systémiciens les concepts complémentaires de flux [1] et de *champ* de force qui rendent compte de façon imagée de la complémentarité des changements intervenant *sur ou dans* un milieu. A l'un, la physique associe les notions de *tension* (*ou différence de potentiel*), représentant le flux comme un *écoulement* entre une *source* et un *puits,* entre deux *réservoirs* (le *tout s'écoule* héraclitéen) [2] ; à l'autre, elle associe plus volontiers des notions d'extensité (cf. M. Dodé, 1965, p. 98) représentant les champs comme une *orientation,* une *capacité d'influence,* un tapis ordonné permanent de *forces d'intensité variable.*

La notion de force est particulièrement abstraite, objectera-t-on. Certes, mais depuis Kepler et Newton, elle s'avère particulièrement commode pour rendre compte de ces influences sans écoulement

---

1. Cette contribution de la physique à la théorie du Système Général doit cependant être considérée avec prudence. L. NIKOLAÏEV (1973, p. 35) rappelle très loyalement, mais lucidement : *Il est impossible d'interpréter les flux au moyen des notions de la thermodynamique classique. Pour caractériser les flux, le temps est nécessaire. (C'est une grandeur que la thermodynamique n'utilise pas.)*

2. Cf. p. ex. : *Pour qu'un système puisse être le siège d'un processus... il est nécessaire qu'il soit en relation avec un système particulier appelé réservoir ou source*. N. BOCCARA (1968, p. 45).

tangible, de ces orientations permanentes et fluctuantes par lesquelles nous nous représentons ces invariants suffisants que sont les objets ou les phénomènes modélisés : équilibres fugaces entre forces d'action et forces de réaction, entre force motrice et force d'inertie, entre force d'attraction et force de répulsion (magnétique ou non). Influences sans écoulement, mais en opposition, ou plutôt en conflit *(le conflit est de tous les êtres le père ; tout devient dans la lutte et la nécessité).* Nous devons aussi à Héraclite l'obscur, ces « observations premières » que C. P. Bruter (1974, p. 17), brillant disciple de R. Thom, a récemment reformulées avec une acuité extrême et bienvenue à l'heure ou s'élabore une théorie de la modélisation.

Intervenant activement sur des flux qu'il contribue à processer dans le temps, et activé plus ou moins intensément par des champs qui, fluctuant dans le temps, lui vaudront parfois des ruptures de stabilité (des *catastrophes*, dira R. Thom), l'artefact Système Général s'adaptera aisément à une représentation fidèle de tous les objets, de tous les phénomènes, que nous nous proposons de connaître, sur ou dans lesquels nous nous proposons d'agir. Il nous suggère une interprétation permanente des univers à décrire comme *tapissés d'objets appelés champs de force* (cf. C. P. Bruter, 1974, p. 17) et de phénomènes appelés flux d'objets en processement. Cette description *a priori* des environnements dans et sur lesquels intervient l'objet modélisé constituera en quelque sorte le sésame de toute systémographie. Quels flux, quels champs, donc quels environnements, dans quelle durée, sont concernés ?

Système et événement : transactions et catastrophes

Il reste à détailler les modalités de mise en œuvre de ce sésame. L'expérience anticipe souvent sur la théorie et la recette vaut souvent mieux que le corps de concepts par lequel on parviendra parfois, sinon à la justifier, au moins à lui valoir quelque généralité.

Peut-être pourtant peut-on mettre en valeur le concept *d'événement ?* Le phénomène identifiable par lequel le Système de Représentation *connaît* l'intervention de l'objet sur les flux qu'il processe ou dans les champs qui le processent : cette *différence* perceptible, qualitative ou quantitative, de telles caractéristiques des intrants ou des extrants, par lesquelles sera modélisée l'activité de l'objet (cf. notamment E. Morin, 1972).

S'agit-il d'un événement associé à un flux ? On parlera volontiers de *transaction de* l'objet avec son environnement, et l'identification ou l'observation de ces transactions servira de guide sûr à la représentation de l'objet, processeur de flux d'autres objets.

S'agit-il d'un événement dont on considère qu'il est provoqué par une fluctuation des champs, par une rupture des équilibres

engendrant l'objet ? On parlera plus volontiers de *catastrophe ou,* si le mot paraît trop fort malgré la remarquable théorisation qu'en a proposée R. Thom (1972), de *mutation,* voire de *trans-formation interne ou* de morphogenèse. Là aussi le diagnostic, ou l'anticipation de ces événements-catastrophes, assistera le modélisateur dans sa tâche initiale : le repérage des champs qui processent l'objet considéré.

Les typologies usuelles des processus

L'expérience millénaire de la modélisation a bien sûr contribué à forger quelques typologies opérationnelles des flux et des champs, qui assistent dans leurs tâches les systèmes de représentation. On se borne ici à rappeler les plus fréquemment utilisées dans la modélisation des objets sociaux, en insistant sur le pragmatisme de ces *listes.*

Tous les systémiciens soulignent d'abord l'intérêt de la typologie des flux établie par les thermodynamiciens ou les biologistes (cf. p. ex. J. Miner, 1965, p. 193) : un objet peut processer des flux d'objets eux-mêmes constitués de *matière, d'énergie* et/ou d'*information*. Les systémiciens sociaux sont souvent conduits à différencier plus finement les flux d'information en distinguant d'une part les *signaux* porteurs de *commandes* d'action (les ordres), des autres (les données) et en distinguant, dans ce dernier groupe, les signes caractérisant les transactions du système considéré avec son environnement, des autres, significatifs d'événements extérieurs (cf. fig. 4.3).

Les mêmes systémiciens sociaux préfèrent souvent privilégier une typologie plus opérationnelle, proposée en particulier par J. Forrester (1961) et par R. L. Ackoff (1970) : les transactions d'un objet social avec son environnement peuvent concerner des individus et des outils (au sens large du terme) d'une part (les flux structurels), et des matériaux ou produits et services et des artefacts monétaires d'autre part (les flux d'activité, ou de performance. Cf. B. Gross, 1966, p. 179, *in* R. Bauer).

Les transactions spécifiquement informationnelles s'ajoutant évidemment aux quatre flux précédents (voir un développement de ce « modèle des quatre flux » dans J.-L. Le Moigne, 1973 et dans Grochla-Szyperski, 1975, p. 324).

La transition des flux processés aux champs processeurs de l'objet modélisé peut être aisément mise en valeur par une image familière. De même, nous le verrons, qu'il *n'y a pas de communication sans mémoire* (cf. A. Wilden, 1972, p. 375), il n'y a pas de flux sans stock : le flux implique un processement de type TEF ;

M		Matière (matériaux et objets tangibles)	
E		Énergie (sous toutes les formes énergétiques concevables)	
I	SIGNES OU SYMBOLES	SIGNAUX de COMMANDE d'ACTION	
		---Information---	
		autres SIGNAUX	SYMBOLES représentant les transactions du système et de l'environnement
			SYMBOLES représentant les autres événements (extérieurs)

FIG. 4.3. — *La typologie des flux MEI :*
classification universelle de tous les objets susceptibles d'être processés par un Système Général intervenant dans un processus

le concept de stock rend compte du cas particulier où les positions dans l'espace E et la forme F restent invariantes pendant que le temps T, seul, progresse. L'image du stock implique celle de deux stabilités suffisantes : celle du réservoir d'une part, donc d'un élément de la structure susceptible d'être à son tour affecté par un champ ; celle, moins nécessaire, du *niveau* qui permettra de diagnostiquer éventuellement les paramètres structurels d'une régulation fonctionnelle (cf. chap. 7), autrement dit d'une *stabilité engendrée par le mouvement* (cf., p. ex., J. de Rosnay, 1975, p. 118, qui parle incorrectement d'équilibre dynamique au lieu de stabilité cinématique). Les typologies des événements pouvant affecter les formes des réservoirs, et donc plus généralement la stabilité structurelle des formes des objets, sont celles que l'on peut proposer pour les champs de force (Ch. Alexander, 1964-1971, p. 17, rappelle l'image féconde de d'Arcy-Thomson, 1917-1969 : *la forme est un diagramme de force*). Elles se réfèrent usuellement au concept de *sphère* pour rendre compte du caractère *englobant* des champs

affectant l'objet et renvoient habituellement aux classifications retenues par Milsum (1968, dans Beishon *et al.,* 1971, p. 187-199) que

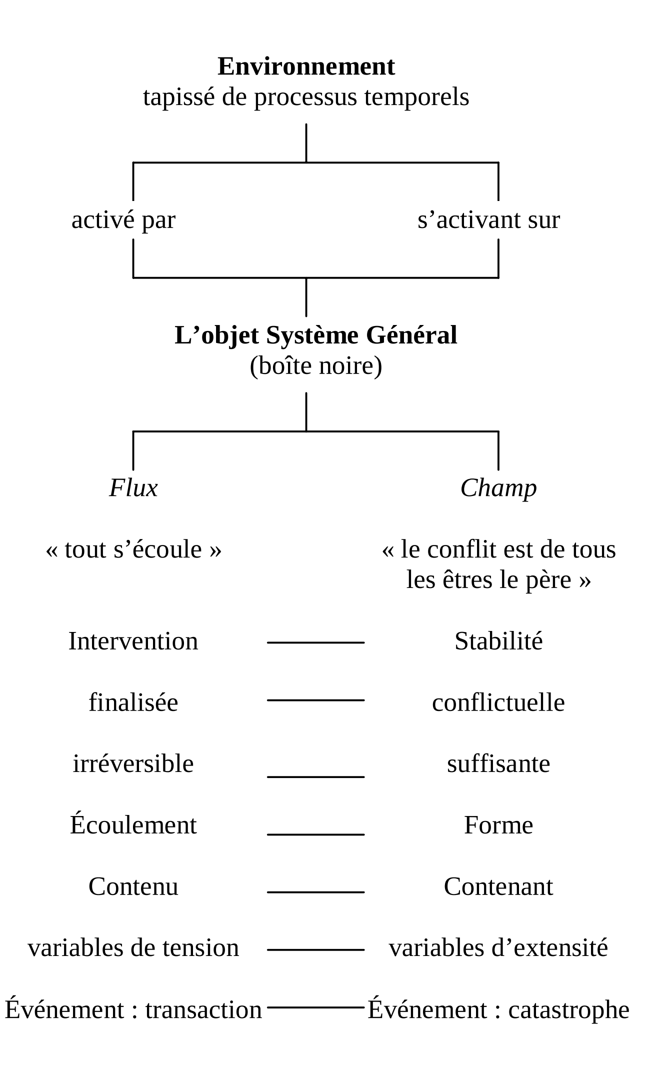


FIG. 4.4. — *La dualité « flux-champ », base de la systémographie de l'environnement du Système Général*

l'on peut nuancer par celles plus innovatrices conçues par P. Teilhard de Chardin. La *géosphère* rassemble les processus physiques naturels, la *biosphère* les processus vivants ou biologiques, la *technosphère* les processus physiques artificiels, la *sociosphère* les processus physiques naturels et artificiels intervenant dans les relations entre les hommes ; *la noosphère* permet de rendre compte de *l'enveloppe pensante de la*

biosphère. Il apparaît souvent commode, dans la modélisation des objets sociaux, d'agréger en une *écosphère,* géo, bio et technosphères.

De telles typologies ne peuvent évidemment garantir l'exhaustivité dans la description, et il serait vain de leur demander une universalité automatique. Leur balayage constitue pourtant la deuxième étape indispensable dans toute systémographie, une fois identifié l'objet à modéliser. La figure 4.4 récapitule de façon cavalière les étapes en dualité de toute représentation des environnements qu'oriente irréversiblement le temps. Elle résume implicitement les développements de ce chapitre.

*
* *

▶ Relecture

« Ça fait quoi dans quoi ? » Le caractère brutal et cavalier de la question a le mérite de son économie mnémotechnique. C'est peut-être en effet par la priorité explicite donnée à la perception d'une activité dans un environnement que la modélisation systémique accuse le plus nettement son originalité... et sa fécondité. Au lieu de prendre un bistouri, de découper pour tenter de découvrir l'hypothétique mécanisme explicatif, attendre et décrire des comportements, des activités : au lieu du « de quoi c'est fait ? », partir du « qu'est-ce que ça fait ? ». Pour conduire cette description, les concepts d'environnement, d'irréversibilité, de processus, de processeur, d'intrant/extrant, de flux, de champ... s'avèrent commodes et souvent familiers en pratique. L'inconvénient de cette présentation quasi énumérative est de retarder l'explicitation des concepts de projets et de téléologie par lesquels, en pratique, passe toujours le modélisateur : pour amorcer des hypothèses de réponse à la question : « Quoi dans quoi ? », il faut se demander en même temps : « Pourquoi ? ». Bien avant de se demander « Par quoi ? »

Note complémentaire pour la deuxième édition

([a]) Cette dichotomie ne doit pas être contraignante : elle n'interdit nullement les relations récursives : le processeur peut être lui-même processé, et le processé pourra être reconnu pour un processeur. On montrera précisément que la fécondité du concept de Système Général réside dans sa capacité à rendre compte à la fois de la conjonction et de la disjonction du processeur (ou de l'opérateur) et du processé (ou du résultat).

CHAPITRE 5

		A	S	E
3	**F**	4	7	10
2	**O**	**5**	8	11
1	**G**	6	9	12

le système général :

réseau borné de processeurs élémentaires

1. Une collection de « mécanos »

La dialectique, processus-processeur

L'exercice d'un processus implique l'hypothèse de l'existence d'un *processeur* au moins. Il n'est pas d'activité sans acteur, de production sans producteur.

C'est en méditant sur cette proposition, d'apparence triviale, que R. L. Ackoff (1974, p. 16), reprenant la réflexion de son maître, le philosophe américain A. Singer, propose de mettre au cœur de la Théorie du Système Général la *dialectique producteur-produit*, en lui demandant de dépasser la stricte correspondance nécessaire et suffisante entre la cause et l'effet (cf. chap. I, p. 16) : *A. Singer observait que la relation cause-effet était utilisée dans deux sens différents : celui de la cause, condition nécessaire et suffisante pour son effet* (celle que nous entendons lorsque nous déclarons communément que Y est fonction de X, et réciproquement). *Mais aussi, celui de la chose tenue pour nécessaire mais non suffisante de telle autre : ... La graine est nécessaire mais non suffisante pour le chêne... Singer propose d'appeler ce second type de correspondance, une liaison producteur produit.* Le processus engendrant les produits pourra, peut-être, être mieux connu si nous parvenons à identifier certains au moins des producteurs intervenant dans le processus, et à nous proposer des hypothèses validables sur l'existence des autres.

Nous ne disposerons pas nécessairement d'une explication cause-effet, mais nous aurons établi un modèle du processus autorisant l'interprétation et donc l'anticipation, dès lors que nous saurons associer judicieusement les processeurs susceptibles d'y intervenir. C'est en ce sens que T. G. Windeknecht (1971, p. 21) peut écrire : *C'est le « processeur » que nous considérons comme notre formalisation principale de la notion de « Système Général ».* Nous devons principalement aux automaticiens et aux cybernéticiens l'effort de définition qui nous permet de manipuler ce concept de processeur dans nos démarches de modélisation des processus : *Le terme de « sous-système »* (on devine déjà que cette formule est quasi identique à celle de processeur) *sera, en revanche, réservé à un ensemble dont la structure physique est inconnue et qui n'est accessible que par ses intrants et ses extrants* (A. Fossard et C. Guegen, 1972, p. 100). Autrement dit, par son *comportement* observé ou anticipé. Le processeur est donc une *boîte noire,* en activité dans le temps, dont on identifie à chaque instant les intrants et les extrants (cf. chap. 4, p. 65).

Une collection de processeurs élémentaires

Le rêve du modélisateur devient alors de disposer d'une sorte de collection de *mécano* [1] dans laquelle il puisera pour agencer, aussi judicieusement que possible, un réseau de processeurs qui, si on simule son immersion dans un processus (observable ou imaginable), assurera au fil du temps le même comportement d'ensemble (observé ou espéré).

Nous faisons l'hypothèse que le système est composé de systèmes plus simples, que nous appelons éléments du système original. Chaque élément du système est caractérisé par son comportement... Chaque élément est donc défini par un ensemble distinctif de quantités (que l'on désignera souvent comme des variables d'activité), et par une relation temporelle (suffisamment) invariante entre ces quantités à un niveau de résolution donné (G. Klir, 1969, p. 44). Le choix des mots ici va s'avérer important par ses conséquences. La désignation d'un processeur par le mot élément avait certes l'intérêt de mettre à la disposition des modélisateurs toutes les ressources apportées depuis trente ans par la théorie mathématique des ensembles (d'éléments). Elle ne privilégiait malheureusement pas la spécificité fondamentale de l'objet à représenter. Il est actif, il a un comportement ; G. Klir précise certes aussitôt que ce comportement le caractérise, mais la précision fut souvent oubliée au profit de l'interprétation statique du concept d'élément, interprétation qui renvoie à un autre être : la correspondance, la relation, la fonction, la

---

1. J'emprunte cette image à J. LESOURNE.

charge d'assurer l'activité, le fonctionnement. Bien des modèles systémiques de processus sociaux ou économiques en particulier ont achoppé sur cette passivation de l'objet élémentaire. O. Lang (remarquablement présenté en français par J. Eugène, in *ISEA*, 1972-HS 14, p. 1704) perçut, semble-t-il, les dangers de cette tentation lorsqu'il proposa d'appeler *élément actif*, et non pas élément tout court, les pièces de la collection de mécano du modélisateur [1] : *nous dirons qu'un élément actif E est un objet matériel* [2] *dont l'état dépend, d'une certaine façon, d'autres objets matériels, et agit d'une certaine façon sur d'autres objets matériels. L'ensemble des autres objets matériels s'appellera l'environnement de l'élément donné (... chaque type d'état, pris individuellement, sera appelé un intrant... ou un extrant de l'élément E. Il peut y avoir plusieurs intrants et plusieurs extrants).*

Un exercice enfantin (cf. Annexe 2a) fera aisément percevoir le caractère jusqu'ici peu familier de cette identification des éléments actifs. Je suggère au lecteur de s'en assurer en le testant sur son entourage. L'inhibition tient peut-être à ce que nous percevons plus naturellement un phénomène par ses produits (les objets processés) que par ses producteurs (les objets processeurs : les éléments actifs). Ainsi, voit-on souvent confondus le système d'information (repéré par les objets processés : en informations), et le système informatique (repéré par les objets processeurs : les ordinateurs) !

Les trois types
de processeurs élémentaires : T, E, F

La définition du processeur était nécessaire pour décrire la composition idéale de la boîte de mécano de notre modélisateur. Mais son rêve est-il réaliste ? Peut-on faire l'hypothèse qu'il existe une gamme de *processeurs élémentaires*, de processeurs *stéréotypes* (R. Thom, 1974, p. 139), telle qu'en fouillant dans la caisse on puisse toujours sélectionner ceux d'entre eux dont l'agencement produira ou reproduira le processus considéré ? Répondre affirmativement à cette question, c'est relever tacitement le défi de Leibnitz à Descartes (cf.

---

1. Le titre du dernier ouvrage de F. PERROUX, qui paraît alors que ces lignes sont déjà rédigées, et qui constitue par lui-même une exceptionnelle illustration de la nouvelle systémographie des phénomènes économiques, s'avère très significatif de cette interprétation : *Unités actives et mathématiques nouvelles.* Unité active, au lieu d'unité tout court, donc d'éléments tacitement passifs. Le concept va faire son chemin dans la science économique, et contribuera certainement à l'enrichir puissamment (cf. en particulier, le chapitre 3, intitulé « L'unité et ses activités » : « cette capacité irréductible de tout agent : l'activité », p. 147).

2. L'hypothèse restrictive d'une matérialité ne me paraît pas nécessaire : la définition reste valable pour des objets conceptuels ou abstraits, qu'il s'agisse d'un poème ou d'un modèle.

chap. I, p. 14) sur l'existence d'une « bonne » méthode de division de l'objet en éléments ; après, il est vrai, que l'on eut substitué à la notion d'élément passif (*l'objet sans nécessité* de Descartes) celle d'élément actif, autrement dit celle de processeur élémentaire.

La réflexion sur le référentiel d'identification d'un processus selon les changements dans le temps, l'espace et la forme qu'il exerce sur les objets processés conduit le modélisateur à un stéréotypage isomorphe pour les processeurs : il doit être possible de conceptualiser des processeurs élémentaires qui interviennent sur le stockage des objets processés (changement dans le temps), d'autres qui interviennent sur leur *transport spatial,* d'autres enfin qui interviennent sur leur *transformation,* et de faire l'hypothèse que tout processus doit pouvoir être représenté par une combinaison judicieuse (et éventuellement monstrueuse) de ces trois types de processeurs élémentaires. (On proposerait volontiers de les baptiser T Processeur, E Processeur et F Processeur pour les différencier, si T. G. Windeknecht (1971, p. 21) n'avait déjà utilisé le libellé « T Processeur » dans un sens beaucoup plus général que celui que nous proposons ici.) Le cas particulier, et heureusement fréquent, où la nature du processement peut être évaluée quantitativement, et où une hypothèse d'invariance temporelle suffisante peut être retenue, est celui que pratiquent depuis longtemps les mathématiques à l'aide des opérateurs et des fonctions élémentaires au sens usuel de ces mots. La fécondité du concept de processeur élémentaire tient pourtant au fait que lorsque ces contraintes de quantification des intrants et des extrants, et d'invariance de leurs relations, ne peuvent être satisfaites, il est pourtant possible de modéliser les processus. C'est en ce sens, me semble-t-il, que l'on a pu proposer une interprétation de la Théorie du Système Général qui la fonde comme une *mathématique du qualitatif.*

J. Miller (1965) a beaucoup contribué à valider cette taxinomie fondamentale des processeurs élémentaires en identifiant dans l'ensemble des systèmes vivants (qu'ils processent matière, énergie ou information) ces trois grandes familles de *sous-systèmes critiques* (p. 338), et en listant, dans chacune d'elles, les désignations communément utilisées par les biologistes... et les informaticiens, pour identifier les actions élémentaires fondamentales qu'ils avaient depuis longtemps repérées. Cette investigation le conduit à mettre en évidence l'hypothèse d'un opérateur élémentaire inclassable, et pourtant indispensable à la modélisation de tout processus : le *générateur* ou la *source* qui, sans intrant identifiable, produit (ou reproduit) l'objet initial soumis au processus (cf. fig. 5.1). G. Klir (1969, p. 215), développant les travaux de Lofgren sur les systèmes physiques, aboutit également à la même classification triadique fondamentale : les « gate-éléments » d'une part, qui n'affectent pas la forme des objets processés (des intrants et des extrants donc) : autrement dit les processeurs élémentaires de type T et E, et les « branch-éléments », qui affectent leur forme : les processeurs élémentaires de type F.

	Processeurs types (sous systèmes critiques)	
	de matière-énergie	**d'information**
E Processeurs	ingesteur	lecteur
	injecteur	récepteur
	distributeur	canal
	extrudeur	émetteur
	extracteur	
T Processeurs	stockeur	mémoire
	magasineur	duplicateur
	accumulateur	
F Processeurs	destructeur	décodeur
	producteur	codeur
	filtreur	calculateur
	catalyseur	régulateur

FIG. 5.1. — *Exemples de processeurs types (en biologie et en informatique). Inspiré de J. Miller*

La caractérisation des processeurs

Cette typologie des processeurs peut évidemment être commodément croisée avec celle des processus (ou des objets processés), que l'on a succinctement présentés au chapitre 5 (p. 70). La première (Matière, Énergie, Information), la plus féconde en physique, a le mérite d'impliquer une hiérarchie dans la représentation : un processeur, processant de la matière, doit recevoir aussi de l'énergie ; un processeur, processant de l'énergie, doit recevoir aussi de l'information de commande ; un processeur, processant de l'information de commande, doit recevoir aussi de l'information de représentation. Elle présente, en outre, l'avantage de remettre en mémoire une hypothèse trop souvent tacite : *a priori* un processeur élémentaire peut processer plusieurs flux différents : il y a plusieurs intrants et plusieurs extrants. De même, il peut être affecté

par plusieurs champs différents qui affecteront la stabilité temporelle de ses comportements [1].

Le processeur élémentaire peut être identifié de façon générale par diverses caractéristiques dont la définition guidera souvent le modélisateur : en *extensité*, on le reconnaîtra par sa *capacité* (de stockage, de transport, de production) ou sa *puissance*, en *intensité* par son débit ou son niveau ou son *efficacité* ou son rendement (un rapport numérique des extrants sur les intrants à un instant donné), ou par son *effectivité* (un rapport, qualitatif au besoin, de son comportement observé à son comportement espéré) [2].

On reviendra aux chapitres 7 et 8 sur ces caractéristiques qui interviennent évidemment de façon plus générale dans la caractérisation du Système Général, dès lors que nous le considérerons comme un réseau de processeurs élémentaires.

Les réseaux de processeurs élémentaires

Nous pouvons en effet passer du concept de processeur au concept de Système Général, autrement dit de la boîte de mécano à son mode d'emploi : comment agencer entre eux des processeurs pour constituer un système que nous tiendrons pour suffisamment ressemblant, par son comportement, avec l'objet que nous observons ou que nous concevons.

R. L. Ackoff (1971, p. 662) est le premier semble-t-il à avoir remarqué que pour définir un Système Général il faut pouvoir identifier au moins deux processeurs élémentaires qui interviennent en son sein. Un seul processeur, aussi *macro* soit-il, nous permettrait sans doute de formaliser une *théorie des processus* telle qu'on l'a présentée au chapitre 4, mais ne rendrait en rien nécessaire une conceptualisation spécifique d'un objet différent que nous appelons Système Général. Le précepte *globaliste* (cf. chap. I) ne nous suffit

---

1. Si le concept de processeur élémentaire s'avère très utile pour modéliser les fonctions assurées par les processeurs intervenant dans un système général, il ne doit pas pourtant être interprété de façon contraignante. Il n'interdit pas en particulier de modéliser ces agrégats insécables que F. JACOB (1971) propose d'appeler des *intégrons* et A. KOESTLER (1967) des *holons* : processeurs irréductibles et polyfonctionnels tels que si on les fait intervenir pour assurer une fonction, on entraîne *ipso facto* l'activation potentielle de toutes leurs autres fonctions. Si F. Taylor, par exemple, avait reconnu que le modèle de l'homme au travail était celui d'un intégron, le taylorisme n'aurait peut-être pas fait les ravages qu'on lui reproche légitimement aujourd'hui.

2. C'est à dessein que nous parlons ici de caractéristiques plutôt que de *propriétés*. Les quasi-synonymies s'avèrent souvent dangereuses pour la cohérence de la théorie. C'est ainsi que P. Delattre conviendra, bien qu'un peu tard (ce livre était achevé, cinq ans après le sien), que lorsqu'il parlait de fonction, il fallait entendre : propriété (*in* LICHNEROVITZ e*t al.*, 1976).

pas à modéliser avec quelque cohérence, et la systémographie implique une forme d'examen qui, sans être *réductionniste,* soit pourtant *identificatrice.*

2. Réseaux d'interrelation

L'interrelation entre...

L'agencement mutuel de deux processeurs élémentaires au moins intervenant dans un processus implique la définition d'un nouveau concept : la *connexion* ou *l'interrelation* (je préfère éviter l'expression *couplage* qui, souvent, en français semble signifier *interconnexion :* des sorties de *A* étant des entrées de *B* et des sorties de *B* étant des entrées de *A*), la mise en relation de deux processeurs, la possibilité d'influer sur tels intrants de l'un par tels extrants de l'autre.

Intuitivement, ce concept d'interrelation paraît fort simple, mais son usage révèle la nécessité de le préciser avec soin : bien des échecs ou bien des complications, dans la pratique de la modélisation, sont attribuables à son utilisation irréfléchie. Il n'est donc pas inutile de souligner les caractéristiques permanentes (et relativement contraignantes, convenons-en, dans les langages de modélisation).

Pour qu'il y ait relation, il faut qu'il y ait au moins deux processeurs à relier ! (Combien d'exposés, issus d'un engouement structuraliste mal maîtrisé réifiant la relation au point qu'on s'accorde le droit de ne plus préciser ce qu'elle relie !) Il est en général très mal commode de représenter, par une seule relation, la connexion de plus de deux processeurs (la relation *n*-aire nécessite un appareil de définitions spécifiantes qui la rend en général peu économique).

Entre deux processeurs *monovalents* (ne processant qu'un seul intrant en un seul extrant), il est possible de dessiner dix-huit schémas différents d'interrelation : la figure 5.2, empruntée à G. Klir et M. Valach (1965-1967, p. 40), les présente succinctement. Il ne suffit donc pas, pour caractériser une interrelation, de nommer les

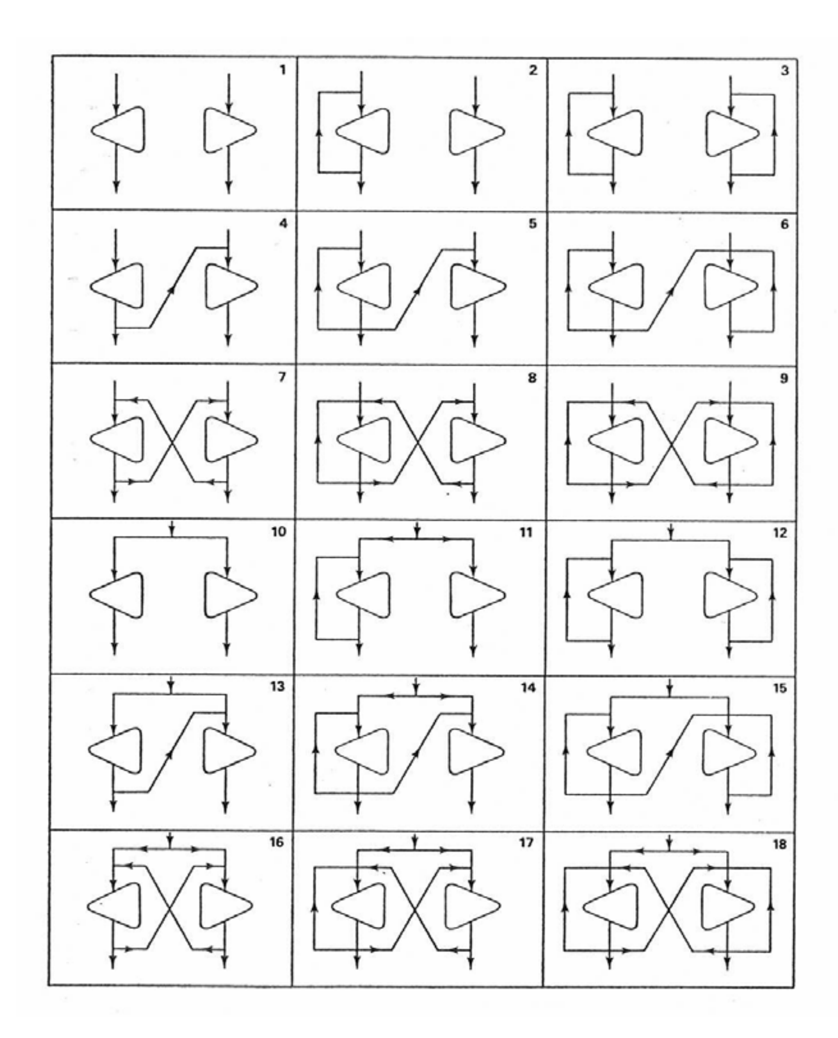


FIG. 5.2. — *Entre deux éléments (processeurs élémentaires) il n'existe non pas une, mais dix-huit interrelations possibles (sur un même flux)*

processeurs qu'elle connecte ! Si les processeurs sont *polyvalents* (plusieurs intrants et/ou plusieurs extrants différents), le nombre des interrelations possibles augmente évidemment beaucoup en fonction de leur valence. La figure 5.3, empruntée à un modèle pédagogique très remarquable de H. Grenievski (*in* Royaumont, 1965, p. 236), illustre le cas simple de deux processeurs bivalents (le premier, privilégiant un processement d'énergie, le second, d'information de

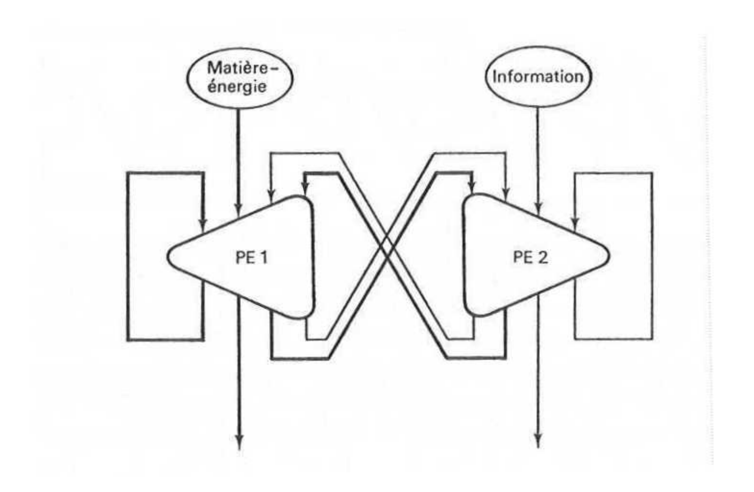


FIG. 5.3. — *Interrelations d'apparence symétrique entre deux processeurs élémentaires (PE_I est par exemple un moteur, ou une usine, PE_2 est par exemple l'unité de commande, ou une équipe de direction)*

commande) généralisant le cas n° 9 du tableau de Klir et Valach (cf. fig. 5.2) ; sa description nécessite, on le vérifie graphiquement, un exposé plus détaillé qu'une simple déclaration d'existence d'une relation entre *A* et *B* !

L'interrelation est neutre

Par construction, l'interrelation entre deux processeurs est *neutre* : par elle-même elle ne processe rien ; elle est définie par la connexion instantanée d'un ou de plusieurs extrants d'un processeur *A* et d'un ou de plusieurs intrants d'un processeur *B* (*B* et *A* peuvent éventuellement être confondus).

Cette proposition résulte de façon quasi triviale de la définition que nous avons donnée des processeurs. Si on établit une relation qui processe et qui connecte, il importera de différencier explicitement un

processeur spécifique reliant par des connexions neutres les deux processeurs initiaux. L'exemple d'un transport de produits semi-finis, entre deux usines, est le plus classique (cf. fig. 5.4). On peut certes représenter ce transport par une flèche symbolisant la connexion et le transport entre l'usine *A* et l'usine *B.* On est alors contraint d'associer à la flèche une étiquette précisant la nature et les caractéristiques du processement qu'elle assure, et on perd ainsi beaucoup en généralité

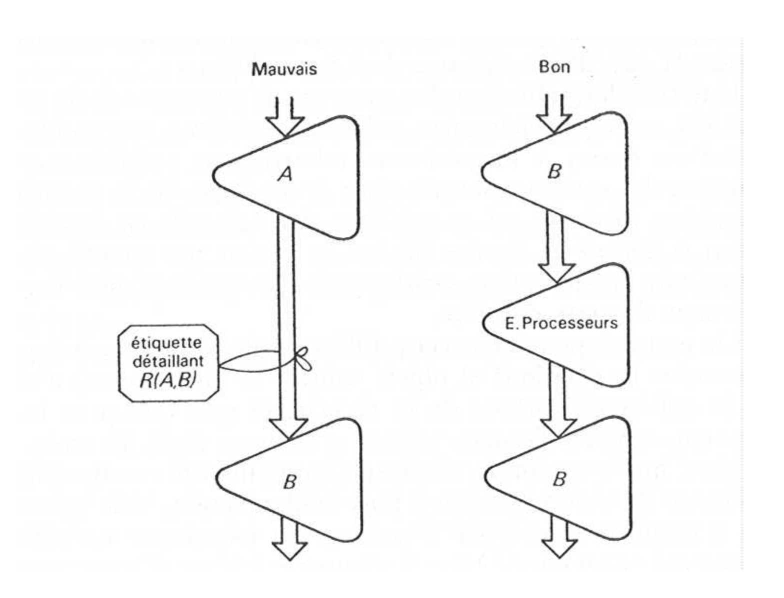


FIG. 5.4. — *Les interrelations sont neutres : elles ne processent rien Pour modéliser un transport, par exemple, on introduit donc un E Processeur dans le réseau*

ultérieure (lors de l'établissement de la matrice structurale du Système Général correspondant). On peut aussi commodément représenter un processeur élémentaire de type E supplémentaire, identifié par son activité (prendre en *A*, rendre en *B*), et connecter — de façon neutre, sans nouvelle action sur les objets processés — à *A*, où il prélève ses intrants et à B, où il restitue ses extrants.

Cette *hypothèse fondamentale de la neutralisation systématique des interrelations, lors d'une systémographie,* n'est pas spécifiquement contraignante, et apporte une grande généralité à la modélisation. Elle semble pourtant encore assez contre-intuitive, compte tenu de nos habitudes intellectuelles et de l'identification que la théorie mathématique des ensembles a suggérée entre les concepts de relation et de fonction. Un contre-exemple fera peut-être percevoir l'importance pratique de cette hypothèse. Je le trouve dans une synthèse de qualité élaborée par L. Gérardin de la Théorie Générale des Systèmes (1975, p. 40) : « *Par définition, un processus est le*

triplet constitué par deux choses A et B et par leur relation d'influence :

$$\left| \; A,\ B,\ R\,(A,\ B) \; \right|$$

$$R\,(A, B)$$

$$A \longrightarrow B$$

« La relation d'influence constitue le processeur via lequel la chose A influence la chose B. Ce processeur peut être multiple. »

Une telle formalisation des concepts de processus et de processeurs est, certes, parfaitement cohérente, et donc acceptable. Elle s'avère en outre, à l'expérience, relativement satisfaisante pour modéliser les systèmes fermés dans le langage de la théorie des ensembles. *Mais elle est en opposition duale de celle sur laquelle nous fondons la Théorie du Système Général,* et elle ne me semble pas permettre une modélisation satisfaisante des systèmes ouverts, à la différence de cette dernière.

On pourrait penser que cette différence de points de vue (appeler processeurs les relations et objets neutres les processeurs) n'affecte pas la cohérence interne de la théorie, et que l'on peut indifféremment explorer l'espace primal et l'espace dual. Je crois, pour ma part, que cette image rassurante de la dualité recouvre ici une différence de vision beaucoup plus fondamentale, celle même que l'on a tenté d'exposer par le passage du paradigme cartésien au paradigme systémique. Mais il n'importe ici que d'argumenter les mises en garde qu'il faut suggérer au modélisateur : les deux discours utilisant les mêmes concepts, leur différence n'est pas toujours aisément visible. Et l'on se condamnerait et s'empêtrerait sans espoir dans un modèle au sein duquel les interrelations seraient, tour à tour, neutres puis actives. Il faut choisir ! Je pense mieux convaincre par l'usage que nous ferons de cette interprétation dans les pages qui suivent que par un argumentaire précipité. Et mon propos ici n'est pas tellement de convaincre que d'éclairer le lecteur sur l'enjeu des hypothèses sur lesquelles se fonde la théorie de la modélisation.

3. Graphes et matrices des réseaux

La matrice des connexions

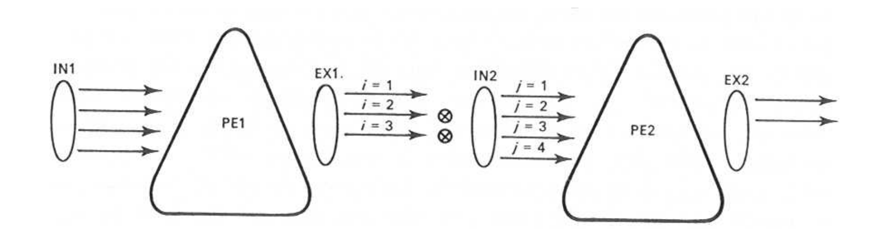
La représentation des connexions de plusieurs processeurs, agencés en un réseau, s'avère en pratique extrêmement aisée. O. Lang

a fort bien repris l’héritage des ingénieurs (voir, p. ex., l’excellente présentation de G. Klir et M. Valach, 1965-1967, p. 41 +), et nous pouvons aisément en tirer parti grâce à l’exposé qu’en donne J. Eugène (in *ISEA*, 1972, p. 1708 +), que l’on peut résumer à l’abri de cette formulation rigoureuse.

Considérons, par exemple, deux processeurs élémentaires PEI et PE2, leurs intrants, symbolisés par les vecteurs IN1 et IN2, leurs extrants, symbolisés par les vecteurs EX1 et EX2. S’ils sont en interrelation, c’est que, par exemple, certaines des composantes (*i*) de EXI deviennent des composantes (*j*) du vecteur IN2. Il existe alors au moins une valeur de *i* et au moins une valeur de *j* pour laquelle EX1 (*i*) = IN2 (*j*).

On peut alors construire la *matrice des connexions* de PE1 et PE2 par l’examen des correspondances entre les composants de EX1 (*i*) et de IN2 (*j*), en convenant que les coefficients *ij* de cette matrice vaudront 1 lorsque EX1 (*i*) sera égal à IN2 (*j*), et vaudront o dans les autres cas.

Par exemple, la connexion représentée par le schéma :



se traduit par la matrice de connexion PE1 — PE2 :

		EX1		
		$i = 1$	$i = 2$	$i = 3$
IN2	$j = 1$	0	0	0
	$j = 2$	0	1	0
	$j = 3$	0	0	1
	$j = 4$	0	0	0

Cette matrice de 0 et de 1 a au plus un élément égal à 1 dans chaque ligne et colonne.

Pour des raisons de commodité d’écriture ultérieure, on présentera fréquemment cette matrice sous forme carrée (en ajoutant

les lignes ou colonnes de 0), et on la désignera *C* (1, 2) ou, plus généralement, *C* (*k*, *l*).

Lorsqu'un processeur élémentaire est connecté à plusieurs autres (ou inversement), on aura affaire à des *connexions ramifiées, en chaînes ouvertes ou fermées.* L'ensemble de ces connexions constituera un *réseau des connexions* agençant les processeurs élémentaires considérés dans le processus. L'identification de ce réseau va s'avérer très puissante pour représenter l'objet par un système général.

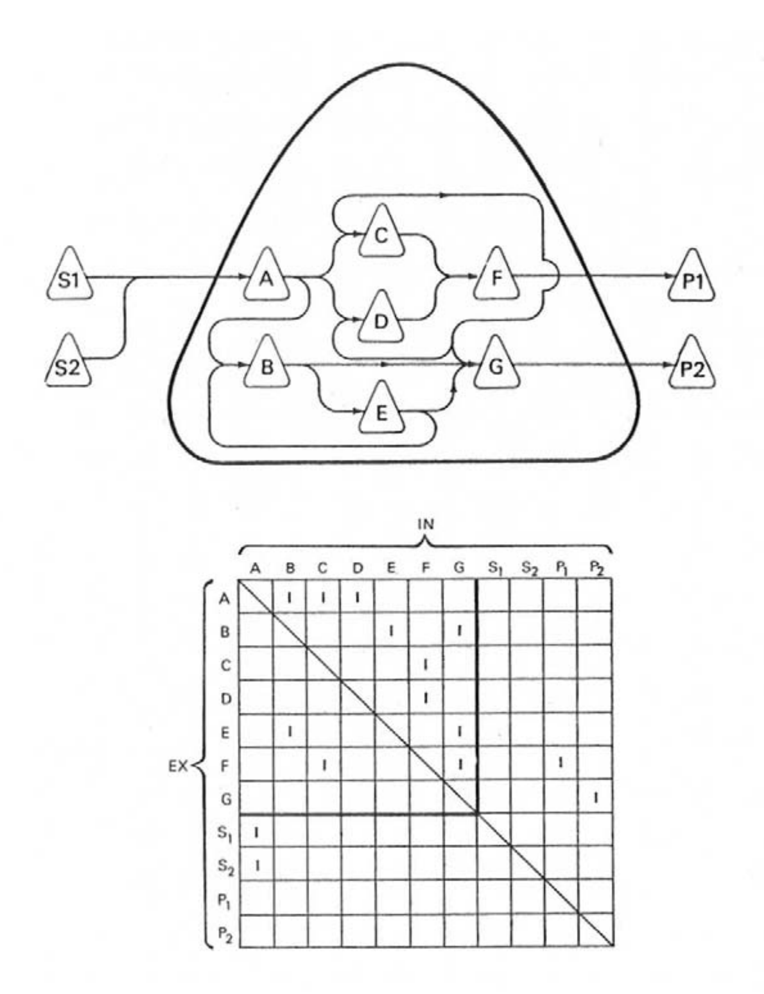
On appellera en général *structure* du modèle du processus ce réseau de processeurs puisque, chaque fois que l'on pourra faire l'hypothèse de son invariance morphologique suffisante dans le temps, il constituera une description interne structurante du phénomène considéré.

La matrice structurale du processus

La représentation de ce réseau par une matrice va s'avérer, à nouveau, extrêmement commode et puissante comme outil de modélisation ; si puissante, que d'aucuns seront tentés de réduire la systémographie à cette seule *analyse structurelle matricielle.* Il est toujours possible, en effet, de modéliser par des agrégats de processeurs (des macroboîtes noires) tous les processeurs que l'on n'a pas encore su, pu ou voulu identifier lors de la description du phénomène considéré (en particulier, les processeurs sources : sans intrants, et puits : sans extrants). On dispose alors d'une énumération finie des *N* processeurs à considérer, des *N* vecteurs intrants et des *N* vecteurs extrants. Le réseau de ces *N* processeurs se représente alors aisément par une matrice carrée, à *N* lignes EX*n* et à *N* colonnes IN*n*, chaque élément de la matrice étant lui-même constitué des sous-matrices de connexions C(*kl*) que nous avons définies précédemment ; ces sous-matrices étant elles-mêmes construites sous forme carrée, constituée de 0 et de 1, la matrice structurelle, représentant le processus, sera elle-même une matrice carrée de 0 et de 1 : donc, un être symbolique, en général aisé à manipuler, doté de quelques propriétés spécifiques intéressantes, et se prêtant fort bien à la généralisation, la comparaison... et l'informatisation, le cas échéant. La figure 5.5 illustre la construction d'une matrice structurale à partir de la description d'un réseau de processeurs.

Le Système Général un réseau borné dans un environnement

Il est évidemment possible, à tout moment, de privilégier une sous-matrice carrée quelconque dans la *matrice structurale* d'un



	A	B	C	D	E	F	G	S1	S2	P1	P2
A		1	1	1							
B					1		1				
C						1					
D						1					
E		1					1				
F			1				1			1	
G											1
S1	1										
S2	1										
P1											
P2											

FIG. 5.5. — *Construction de la matrice structurale du Système Général*
à partir du graphe du réseau des processeurs
(on n'a pas porté les zéros dans les cases blanches pour alléger le schéma)
Sur l'interprétation de la diagonale de la matrice, cf. p. 91

processus en la bornant arbitrairement par sélection des processeurs dont on souhaite étudier, plus spécifiquement, l'agencement interne ou le comportement global. Il importe alors de ne pas détruire les interrelations entre cette sous-matrice et les autres processeurs ou agrégats de processeurs considérés. On appelle précisément Système Général *le réseau borné, ainsi identifié dans un ensemble de processus, restant en interrelation* (on dira ouvert ou quasi isolé) *avec le reste des processus considérés* (que l'on désignera habituellement : *Environnement* du Système Général.

Cette représentation a quelques conséquences qui caractérisent habituellement la Théorie du Système Général :

a / Elle propose une modélisation *a priori* des environnements comme *tapissés par des réseaux de processeurs* connectés au Système Général. Cette interprétation est parfaitement cohérente avec celle que nous avions retenue (cf. chap. 4., p. 61), en considérant l'environnement comme *tapissé de processus* (flux et champ).

b / Elle permet une représentation vectorielle extrêmement commode d'un Système Général ouvert, sous-ensemble interconnecté de processus ; on doit pouvoir, en effet, identifier (qualitativement, en les nommant, et, parfois, quantitativement, en les évaluant) les composantes de deux vecteurs significatifs : l'ensemble des intrants et l'ensemble des extrants du Système Général. La matrice que constituent les composantes de l'intrant en ligne et de l'extrant en colonne est alors la *matrice structurelle du Système Général.* Elle nous permet aussi de considérer que la *correspondance*, à chaque instant, entre les composantes de l'intrant et les composantes de l'extrant peut s'exprimer sous la forme très générale d'un *produit cartésien* qui définit un domaine dans lequel le Système Général pourra, à tout instant, être spécifié par une relation *R*, autrement dit par une des valeurs possibles de la matrice structurelle.

M. Mesarovic, dès 1963 (p. 7), fondera sa contribution *à* la Théorie du Système Général sur cette définition : *Un Système Général est une relation définie sur un produit cartésien.* Il devra sans doute, par la suite, contraindre cette définition afin de disposer d'êtres mathématiques plus fins et plus manipulables... bien que rarement adaptés *à* la modélisation des processus biologiques ou sociaux. Mais ce point de convergence s'avère fondamental dans la construction cohérente de la théorie, permettant d'interrelier bien des apports, d'origine disciplinaire, très divers.

Cette définition du Système Général :

$$\mathrm{SG}(t) = \mathrm{IN}(t) \times \mathrm{EX}(t)$$

s'avérera particulièrement commode pour développer les concepts de programme, d'organisation et de stabilité structurelle dans la Théorie du Système Général (cf. chap. 7, 8, 9).

c / Troisième conséquence de cette représentation : elle introduit la notion de *frontière* du Système Général qui apparaît comme une délimitation relevant, *a priori*, de l'arbitraire du modélisateur au sein du réseau associé aux processus considérés. On discutera de la signification de cet arbitraire au chapitre 6, mais il est possible, à ce stade, de mentionner ce concept imagé de frontière : l'ensemble fini des processeurs par lesquels le Système Général reçoit ou émet les événements qui concernent ou affectent son comportement, autrement dit les intrants et les extrants du Système Général. Ces *processeurs frontières* (les « gate-éléments » de Klir-Lofgren) ont un rôle particulièrement privilégié dans la définition du Système Général, puisque c'est par eux que le Système de Représentation observe les séquences de comportement de l'objet à modéliser. Leur identification sera, en général, très féconde pour guider l'identification des processus. (Il résulte de cette définition qu'un système fermé n'a pas de frontière ! Ou encore, de façon moins paradoxale, que son environnement est vide.)

4. Arborescences et rétromettances

Relations arborescentes et rétromettantes

La considération des matrices structurelles, pour représenter le Système Général, à un instant donné, permet par ailleurs de prendre en compte une distinction que l'expérience révèle très importante dans l'examen des interrelations : celle des connexions *ouvrantes* (dans le « sens » [1] du processus) et des connexions fermantes (dans l'autre sens). Les premières, très familières et très aisées, économiques à décrire ou à concevoir, se représentent usuellement par des formules du types : relations en cascade, en parallèle, en chaîne ouverte, en séquence ou en série, ramifiée, en arbre. Elles constituent la classe des *relations arborescentes* (la littérature anglo-saxonne parle de relations *hiérarchiques*, mais je montrerai (cf. chap. 8, p. 141) que ce terme

1. *La flèche du temps*, cf. O. COSTA DE BEAUREGARD (1963).

recouvre une classe très particulière des relations arborescentes). La science de la *systématique* était fondée sur une théorie de la classification conçue, exclusivement, sur des systèmes ne comportant que des relations arborescentes. Lorsqu'elle dut prendre en compte aussi des relations bouclantes, il parut légitime de changer son nom pour éviter les confusions et de passer de la systématique à la *taxinomie.* Les relations *bouclantes* ou fermantes ou réciproques ou conflictuelles ou de recyclage sont moins familières et perçues comme source de complexité. La modélisation ne les a clairement explicitées dans son arsenal que depuis une trentaine d'années (leur considération fut l'étincelle créatrice des fondateurs de la *cybernétique*), et bien des théoriciens proposent aujourd'hui de justifier la novation scientifique de la Théorie du Système sur sa volonté explicite de prendre en compte les boucles [1]. Il n'existait pas encore de désignation stéréotypant ce type de relations fermantes dans leur complémentarité avec les relations arborescentes : recyclage implique une connotation ambiguë avec la notion de cycle périodique, et *feed-back* mérite un procès particulier que nous retrouverons au chapitre 6, en parallèle avec celui de hiérarchie (en outre, il franglicise bien inutilement un concept déjà flou en anglais) [2].

C'est pourquoi je propose ici le stéréotype : relations *rétromettantes* — ou, plus généralement, *rétromettance* (forgé par analogie avec transmettante) — pour désigner cette famille d'interrelation dans les systèmes.

Cette typologie fondamentale s'avère extrêmement commode dans les investigations des réseaux de processeurs. Le seul coloriage contrasté des relations arborescentes et des relations rétromettantes dans un treillis suggère des arrangements significatifs en niveaux (F. Ténière-Buchot, 1972, a illustré cette démarche modélisatrice par un modèle de bassin hydrographique popularisé, sous le nom de *modèle Popole,* en observant qu'il pouvait, dans ce cas particulier, regrouper au dernier niveau toutes les relations rétromettantes ; trop attentif au caractère simplificateur des relations arborescentes, il n'en a malheureusement pas tiré tout le parti que cet arrangement permettait).

---

1. Ce passage de « l'arbre » au « treillis » pour typifier le Système Général a été mis en valeur en particulier par A. PIZZORNO (1974, p. 21) et surtout par H. LEFEBVRE (1969), cité par Y. BAREL (1970, p. 31).

2. Le concept de *feed-back* semble, en outre, s'être spécialisé aux relations purement informationnelles, malgré les mises en garde de H. GRENIEWSKY (1960-1965, p. 30) : *tout couplage n'est pas nécessairement un couplage informationnel* ; ou de B. GROSS (in BAUER, 1966, p. 181) : « *C'est bien plus que cela, intrants et extrants peuvent inclure des individus, des biens, des services, et pas seulement des informations*. »

Complication et complexité

Cet exercice de coloriage devient rapidement inextricable dès que le nombre de processeurs à interrelier dépasse la dizaine. Développant une remarque de O. Lang (cf. J. Eugène, 1972, p. 1713), L. Gérardin (1975) a brillamment montré la richesse de la représentation matricielle du Système Général en observant que toutes les relations rétromettantes sont représentées par les valeurs non nulles sur, et en dessous de, la diagonale principale de la matrice, alors que les relations arborescentes sont traduites exclusivement par les valeurs au-dessus de cette diagonale (cf. fig. 5.5) [1]. Il en a tiré une distinction très opérationnelle entre les systèmes *compliqués* (des processeurs nombreux connectés uniquement par des relations arborescentes) et les systèmes *complexes* (des processeurs qui, sans être nécessairement nombreux, sont connectés aussi par des relations rétromettantes : ce que l'on identifie en observant que la partie de la matrice en dessous de la diagonale principale contient au moins quelques valeurs non nulles). Cette définition expérimentale de la complexité s'avère d'une grande généralité, tout en étant très opérationnelle dans la pratique de la modélisation (cf. chap. I et chap. 12, p. 256).

Les relations poolantes et stabilisantes

Les relations mixtes, à la fois ouvrantes et fermantes, sont privilégiées assez naturellement par la démarche modélisatrice ; elles apparaîtront fréquemment lorsque l'un des processeurs connectés sera de type T (un pool ou un tampon, un stock ou une mémoire) et caractériseront une famille spécifique très importante dans les réseaux à processeurs multiples : les relations *poolantes.* Le sociologue J. D. Thomson (1967, p. 51) observera qu'elles méritent d'être traitées de façon prioritaire, ce qui se fera de façon quasi spontanée dès lors que les processeurs-pool auront été identifiés.

La contribution spécifique des relations arborescentes et rétromettantes pour l'interprétation de la *stabilité structurelle* du Système Général justifie une discussion particulière que l'on présente au chapitre 9.

---

1. On remarquera bien sûr que l'argument doit être mieux précisé, puisqu'il implique un rangement de type lexicographique établi a priori. L'identification d'une boucle (un I en dessous de la diagonale principale de la matrice structurelle) doit être validée par le constat de sa permanence lorsqu'on permute l'ordre des processeurs dans le rangement initial.

5. La modélisation par les réseaux

Réseau et temporalité
L'exemple de la « dynamique industrielle »

La représentation des réseaux de processeurs par des graphes, dont les nœuds sont des processeurs, ou par les matrices de ces graphes (les matrices structurelles), a l'inconvénient grave de ne pas rendre compte aisément de l'instantanéité de ces représentations. Elles sont représentatives « à t donné », mais peuvent ne plus l'être à $t + \Delta t$!

J. W. Forrester fut, semble-t-il, le premier à percevoir l'extrême richesse de ce processus modélisatcur et son danger potentiel. Dans sa célèbre *Dynamique industrielle* (1961), il révèle la possibilité de rendre compte de tout processus socio-économique de type flux à l'aide de deux classes de processeurs élémentaires, et de deux seulement : les *réservoirs* (nos processeurs de type T) et les *actionneurs* (les *cannes,* nos processeurs de type F et E), en différenciant ensuite soigneusement les divers types d'interrelation assurant l'écoulement des flux entre les processeurs. Son modèle de référence est trop populaire aujourd'hui pour qu'on le détaille à nouveau ici (une présentation fort pédagogique en français *in* J. de Rosnay, 1975, p. 98 +). Ses disciples ont souvent oublié une de ses suggestions initiales qui visait à noter dans un cadre *ad hoc*, au bas de chaque boîte noire représentant un processeur, les caractéristiques de durée ou de fréquence ou de débit qui rendaient indirectement compte de la *cinématique temporelle* des processus élémentaires considérés. Cette défaillance explique, me semble-t-il, bon nombre des erreurs d'interprétation auxquelles conduisent des examens trop statiques des modèles forrestériens (et, plus généralement, des modèles en graphe de réseau, dès lors qu'ils ne sont pas temporalisés de quelque façon. *Nombre de schémas, inspirés de l'analyse de système, ne tiennent pas compte des délais variables d'action et de réaction des phénomènes modélisés* (Y. Barel, 1970, p. 142), et semble oublier que la correspondance entre IN(t) et EX(t) est souvent de la forme IN(t_i) $\times$ EX($t + \Delta t$) [1].

---

1. Ce livre était achevé lorsque parut l'article fondamental d'H. ATLAN sur « Les modèles dynamiques en réseaux et les sources d'information en biologie » (*in* LICHNEROWICZ *et al.,* 1976). H. Atlan y présente en particulier le langage des *graphes de liaisons* qui doit ouvrir beaucoup de possibilités nouvelles et puissantes à la modélisation des phénomènes dynamiques autant que des phénomènes cinématiques. On ne peut hélas que mentionner ce thème ici, en suggérant au lecteur une lecture attentive de l'article d'Atlan. Citons par exemple : « *L'intérêt du graphe tient non seulement à ce qu'il fournit une représentation picturale, mais surtout aux propriétés*

La représentation des cycles par des réseaux

Dans le cas où les processeurs ne sont pas très nombreux, et où l'on se propose de privilégier l'examen du processus par rapport à l'un d'entre eux supposé stable par plage, on peut vaincre commodément cette difficulté de perception en différenciant plusieurs processeurs différents représentant le même processeur en différents états structurels. La schématisation du processus permet alors de mieux visualiser sa temporalité.

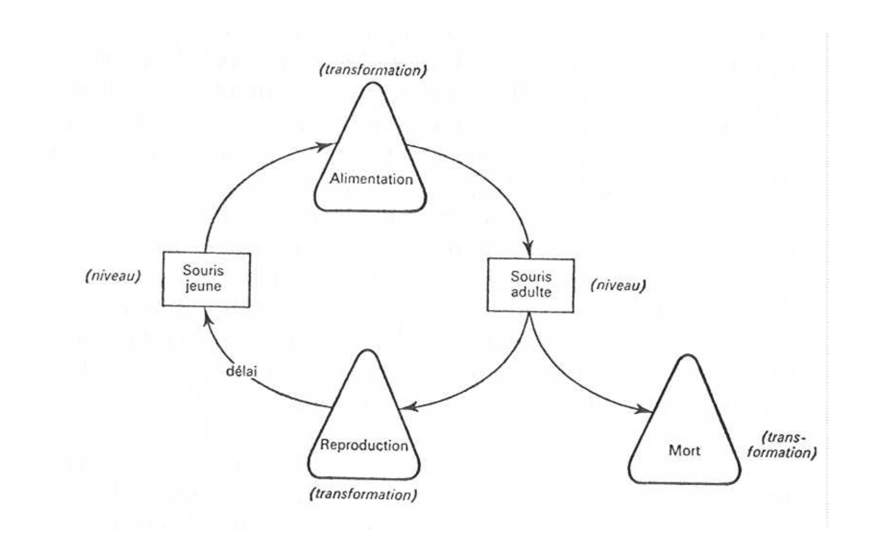


FIG. 5.6. — *Modélisation visualisant la « temporalité » du processus par différenciation d'un même objet processé dans des états différents de son « cycle »*

La figure 5.6 reprend le cycle connu de la vie de la souris sous cette forme, en modélisant deux processeurs différents, la souris jeune et la souris adulte, pour rendre compte de la même souris à deux époques différentes.

Cette recette ne se prête évidemment qu'au cas particulier de cycle temporel simple et bien identifiable. Dans le cas général, il nous faudra introduire les notions de trajectoire et de programme d'un Système Général pour rendre compte plus correctement de la temporalité des phénomènes représentés (cf. chap. 7).

---

logiques dont il est doué, qui permettent une écriture algorithmique, donc automatique, des équations d'état du système » (p. 108).

Les processeurs d'amplification

Cette discussion des processeurs intervenant dans le réseau constitutif d'un Système Général peut utilement être complétée par la mention d'un type de processeur particulier fréquemment observé ou recherché. Les processeurs amplificateurs : *un amplificateur est un appareil* (donc un processeur) *qui, recevant un peu de quelque chose* (a little of something !), *en émettra beaucoup !* (R. W. Ashby, 1956 (p. 265.) L'imprécision de la définition découragerait la discussion de ce concept si les ingénieurs automaticiens ne nous fournissaient la preuve de son extrême intérêt. En soi, il s'agit, certes, d'un processeur de type F que rien ne différencie particulièrement. Sa spécificité tient à la localisation de son *insertion* dans un réseau prédessiné : la recherche des *points d'amplification* possibles, autrement dit des interrelations entre tel et tel processeur élémentaire, qu'il faudra sectionner pour insérer un amplificateur, est une tâche difficile mais indispensable. Que d'erreurs de diagnostics sont issues de sa négligence ! Combien d'ordinateurs ou de coordinateurs ou de comités ont été insérés à fin d'amplification imprécise dans des organisations humaines, sans résultats positifs tangibles ? Un examen plus fouillé des points d'amplification permettrait souvent de mieux modéliser le phénomène considéré (un exemple intéressant *in* J. de Rosnay 1975, p. 123).

Cet examen des processeurs spécifiques, intervenant dans l'amplification positive des processus (on parlera souvent de processeur à *feed-back positif*..., ce qui ne contribue pas à clarifier le sens de ce mot *feed-back*), implique l'examen complémentaire de processeurs du même type intervenant en amplification négative sur les processus (à feed-back négatif). On les désignera souvent comme des stabilisateurs de processus (au risque parfois de confondre la stabilisation d'un processus : la *régularisation d'un flux*, et la stabilisation d'un Système Général : la *stabilité structurelle d'un objet* (cf. chap. 9)).

Rétro... systémographie.

En guise de récapitulation, plutôt que de conclusion, de ce développements sur les réseaux de processeurs élémentaires, suggérons au lecteur un petit exercice de rétro-systémographie que présente et que commente l'Annexe *2c* (p. 280).

*
* *

▶ Relecture

On n'a pas encore épuisé la richesse de la métaphore des réseaux pour représenter un phénomène perçu complexe par un système. Depuis la rédaction initiale de ce chapitre, les travaux sur les *réseaux à niveaux multiples* et les *réseaux d'automates probabilistes* se développent — ou sont remis en valeur — sans qu'il soit encore possible de proposer une nouvelle présentation synthétique parfaitement satisfaisante. On peut pourtant souligner la pertinence de ceux que Jean Voge a rassemblés sous le titre de *l'économie des réseaux* [1], et de ceux qui permettront de modéliser matriciellement les *états internes* associés à chacun des *comportements* observables du système modélisé.

En considérant les réseaux les plus familiers, ceux des interconnexions des postes téléphoniques, J. Voge rappelle que le nombre d'interconnexions *a priori* nécessaires pour relier sans défaillances N processeurs (par exemple N postes) entre eux devrait être de l'ordre de N^2 (si la matrice structurale est de taille N, elle doit pouvoir présenter, N^2 interrelations possibles) : la complexité d'un central téléphonique interconnectant 5 000 abonnés devient vite extrême et onéreuse, suscitant des déséconomies d'échelle parfois considérables. Le clivage en *niveaux* permet sans doute une première limitation : un premier niveau de 10 centraux de 500 abonnés, dont les comportements sont coordonnés par un deuxième niveau où deux centraux coordonnent chacun 5 des centraux du niveau I, puis un troisième niveau où un ultime central coordonne les deux précédents. J. Voge montre aisément les faiblesses et les coûts de ces *réseaux hiérarchiques* familiers et met en évidence l'intérêt des structures dites *réparties, où* l'on organise le réseau de telle façon qu'il y ait *le même nombre de centraux à chaque niveau* (et donc au moins deux itinéraires possibles d'un poste à l'autre !). Exploitant un théorème peu connu de C. Shannon, J. Voge montre que l'on peut alors concevoir des *architectures de réseau « équilibrées »* ne comportant que $C = k. N. \log N$ interconnexions bilatérales entre N interlocuteurs. Ce nombre est un minimum théorique, dont on peut pratiquement se rapprocher ; il est très inférieur, en pratique, au nombre N^2 impliqué par l'interconnexion complète. Depuis 1977, s'est développée une

1. Jean VOGE, *Un nouvel ordre économique de l'information et de la communication,* novembre 1981 (note interne de la Direction générale des Télécommunications, DAII, Paris).

théorie dite de la complexité [1], qui se consacre à la recherche de ces structures économiques de réseaux d'interconnexions entre postes.

L'évaluation du nombre de configurations internes d'un système représenté par *N* processeurs susceptibles d'être interconnectés deux à deux de toutes les façons possibles était suggérée par la présentation booléenne de la matrice structurale : il est en effet théoriquement possible de concevoir tous les réseaux différents : possibles interconnectant bilatéralement tout ou partie de ces *N* processeurs, chaque réseau correspondant à une image de la matrice structurelle. Cette évaluation fut rappelée dans un des textes fondateurs de l'intelligence artificielle par M. Minsky en 1961 (cf. Feigenbaum et Feldman, 1963, p. 415) et reprise peu après dans les célèbres conjectures de H. Bremermann (cf. Yovits, 1962, p. 94) : il y a *a priori* 2^{N2} *configurations* de réseaux différents possibles interconnectant les *N* processeurs par lesquels on représente un système. Autrement dit, un système simple modélisé par deux processeurs seulement, du type de celui proposé par Klir et Valach (cf. p. 109), peut être décrit par $2^{N2} = 2^{2^2} = 16$ réseaux (configurations) possibles, au maximum. Klir et Valach, qui ignoraient cette présentation de Minsky, énumèrent 18 configurations différentes, parce que leur modèle introduit subrepticement des processeurs amont et aval qui ne jouent qu'un rôle de bifurcation : si l'on ne prenait pas en compte cet « environnement » du système, on verrait qu'il « manque » huit cas de figures possibles (mais pratiquement sans intérêt : cas d'une fermeture complète de chaque processeur) dans leur énumération.

Cette évaluation du nombre de réseaux concevables s'avérera fort pertinente pour estimer le nombre de *comportements* différents *a priori* possibles, et donc la *variété,* et donc la *richesse organisationnelle* d'un système général (cf. chap. 7, 9 et 10). Peut-être faut-il attirer l'attention sur l'énormité des chiffres à laquelle conduit cette estimation : pour un système représenté par $N = 10$ processeurs supposés *a priori* tous interconnectables deux à deux, on peut concevoir 2^{100} réseaux d'interconnexions différents possibles, soit 10^{30} environ !... On voit qu'entre le minimum théorique proposé par la formule de Shannon-Voge $C_1 = kN .\log N$ et le maximum théorique proposé par le dénombrement combinatoire (type Minsky-Bremermann), $C_2 = 2^{N2}$, le nombre de configurations de réseaux nécessaires ou possibles représentant l'état d'un système peut évoluer dans une très large plage ! Il reste que ces deux interprétations proposent deux limites correctement formalisées, donnant au concepteur d'un modèle systémique des repères bienvenus.

Cette relecture peut mentionner par ailleurs une remarque suggérée par une pratique pédagogique : il serait peut-être légitime de

---

1. Voir notamment M. J. MARCUS, *Proceeding of the IEEE,* vol. 65, 1977, p. 1263-1271, et une présentation en français dans *Pour la science,* vol. I, 1978, p. 86-95.

mettre plus largement en évidence l'intérêt des boucles de re-cyclage (*feed-back*, informationnels ou non, en soulignant la généralité des modèles de régulation (*feed-back* négatif) [1] et d'amplification (*feed-back* positif) (cf. p. 122). On retrouvera les premiers aux chapitres 6 et 9 notamment, mais insuffisamment développés à l'intention des modélisateurs développant des modèles d'anticipation par simulation.

1. Sur la généralité de la régulation, on renvoie par exemple à A. LICHNEROWICZ, F. PERROUX et G. GADOFFRE, *L'idée de régulation dans les sciences*, 1977.

CHAPITRE 6

		A	S	E
3	**F**	4	7	10
2	**O**	5	8	11
1	**G**	**6**	9	12

le projet du système général :

une intervention finalisante dans un environnement

1. Des « points d’articulation naturels »

Séparabilité et articulations naturelles

« ... *D’abord, rassembler en un concept unique un éparpillement de détails afin que chacun comprenne de la même manière de quoi il s’agit. Ensuite séparer ce concept en divers éléments, mais au niveau des points d’articulation naturels, et non en découpant des membres en deux...* » La recette est de Platon, dans son Phèdre, et C. Alexander la place judicieusement en exergue de son passionnant Essai sur la synthèse de la forme (1964-1971) [1]. Platon pas plus que Descartes ne nous dit comment découvrir ces mystérieux points d’articulation naturels. Nous nous sommes sans doute déjà proposé quelques repères en convenant de l’hypothèse de processeurs agencés en un réseau, en nous représentant donc a priori l’objet comme actif dans ses environnements, et non plus passif et sans nécessité. N’est-il pas possible d’aller plus avant et de guider plus précisément la démarche du modélisateur ? À la lumière en particulier des progrès apportés par J. Piaget aux interprétations génétiques de l’épistémologie génétiques

1. P. DELATTRE, citant A. Lichnerowicz, évoque plaisamment l'insoluble « problème des articulations du poulet » dans le passionnant recueil *Structure et dynamique des systèmes* (1976).

de l'épistémologie et à leurs applications spectaculaires en psychologie ou en embryologie par exemple, il est tentant de proposer une réponse positive ; sans être contraint par l'histoire des sciences, mais semble-t-il sans la trahir sérieusement, on peut en effet aujourd'hui développer une interprétation génétique de la modélisation de l'objet actif dans sa représentation par un Système Général. Elle présente pour nous l'avantage de suggérer l'image d'une croissance morphogénétique quasi naturelle qui *sépare* le modèle de l'objet en un certain nombre d'unités actives [1] archetypées et permanentes. Leur identification fournit alors la grille de *séparabilité* que recherche le modélisateur naturellement et heureusement paresseux ! Elle permet en outre de spécifier un grand nombre de caractéristiques de la systémographie des objets actifs et de proposer un schéma directeur de leurs *articulations.* Cette définition génétique a en outre l'avantage de différencier implicitement les contributions successives des diverses disciplines à la théorie du Système Général et d'ordonner ainsi la communication entre spécialistes différents utilisant les mêmes mots !

C'est probablement à cet aspect qu'avait été sensible l'économiste-philosophe K. Boulding dans un texte prémonitoire bien souvent cité depuis, à juste titre : *La théorie des systèmes généraux, charpente de la science* (1956). Il y présentait quelques-unes des intuitions de base de L. von Bertalanffy, que ce dernier devait à son tour (1968-1973, p. 26) reprendre et nuancer, tout en suggérant quelques approfondissements possibles : *En ce sens, cette présentation suggère à la fois les limites du réductionnisme et les insuffisances de nos connaissances... en dernier ressort, la structure (l'ordre des parties) et la fonction (l'ordre des processus) sont peut-être la même chose* (the very same thing) : il est peut-être possible de séparer sans couper les membres en deux !

Frontières, finalités et interprétations génétiques

Mais pour que cela soit possible, il nous faut disposer d'une intelligence opérationnelle du concept de frontière du Système Général qu'il a fallu introduire dès que nous nous sommes proposé de représenter l'objet actif, intervenant donc dans ou sur des processus. La délinéation quasi topologique de la frontière du Système Général représentant l'objet était certes facile puisque arbitraire *a priori.* Mais elle ne nous empêchait pas de *couper* à notre insu *le membre en deux.* Pour guider la main du découpeur (le Système de Représentation), il faut quelques repères ; il n'en est d'autres que ceux qu'il se forge lui-même : les intentions du Système de Représentation déterminent, explicitement ou non, les frontières, les séparations, dans la systémographie de l'objet. Dis-moi quels sont tes objectifs, je te dirai

1. Cf. la n. 1, p. 104.

ce que sont les séparations sur lesquelles tu articules le modèle de cet objet. Elles s'expérimentent peut-être au hasard, mais, une fois arrêtées, nous saurons les justifier au nom de nos objectifs et donc des projets (cf. chap. 3, p. 54) que nous attribuons à l'objet modélisé. La connaissance de sa structure comme celle de ses fonctions ne s'entendent que par rapport aux intentions que nous lui proposons. Nulle table de la loi ne nous dicte l'ordre des intentions et cette extraordinaire liberté du modélisateur, ce droit imprescriptible à l'imagination constituent sans doute la valeur la plus précieuse que doivent nous garantir nos méthodes de modélisation, analyse cartésienne ou systémographie. L'expérience, le langage, la culture au sein desquels nous modélisons nous contraignent pourtant [1], en même temps qu'elles nous assistent d'irremplaçable façon, nous épargnant de reparcourir chaque fois six mille ans d'histoire de la pensée humaine. Il nous importe seulement de diagnostiquer lucidement le poids et l'origine de ces contraintes dans l'exercice de l'imagination (de la construction des images). Tel est le service que nous pouvons légitimement demander aux généticiens de toutes origines [2] qui nous proposent, dans une sympathique convergence, des schémas de séparations successives des objets. Nous n'érigerons pas cette convergence en une théorie définitive et démontrée (ce que semblent faire quelques militants de la Théorie Générale des Systèmes), mais nous apprécierons assez sa commodité et son économie pour guider l'exposé puis la pratique de la systémographie. Pour y parvenir avec assez de modestie et d'humour, nous ferons imprimer sur les couvertures de toutes nos études la conclusion de F. Jacob (1970, p. 345) : *Quelle dissection, demain, disloquera nos objets pour les recomposer en un espace neuf ?*

2. Une articulation en neuf niveaux

Les dissections d'hier nous livrent il est vrai un espace que nous n'avions peut-être pas encore soigneusement exploré. Un espace en neuf niveaux (selon K. Boulding), neuf strates (selon M. Mesarovic), successives mais stables, que l'observateur tentera de reconnaître dans l'opacité de l'objet, sûr d'y trouver les premiers, plus incertain dans l'identification des dernières. L'évolution s'est peut-être interrompue à la troisième ou à la septième strate ? À moins qu'il n'y ait eu

---

1. J.-L. RIGAL (1975) met en valeur le poids de ces contraintes socio-culturelles dans toute modélisation. Il nous invite en conclusion à développer notre sens de l'humour vis-à-vis de nos propres « données ».

2. Après Bertalanffy et Boulding déjà cités, il nous faudra donc méditer bien des travaux tels que ceux de J. PIAGET (1967 et 1970). de T. DOBZHANSKY (1961-1966), d'E. MORIN (1971 et 1975), de F. JACOB (1970) ou de P. TEILHARD DE CHARDIN (1955).

récession et que seules demeurent des traces imperceptibles de strates d'ordre plus élevé ?

Le premier niveau :
L'objet passif et sans nécessité

Le premier niveau est celui de l'objet passif : la pierre ou le soleil étaient, sont, seront, et le modélisateur ne leur assigne nulle *nécessité* : ils n'ont rien d'autre *à faire* que d'être. Peut-être seront-ils composés d'autres objets ? Ceux-là, à leur tour, seront tenus pour passifs : les planètes dans l'univers, les atomes dans la molécule, la cellule dans le tissu, les cristaux dans la glace, le mot dans la phrase, le galérien dans la chiourme. Leur représentation est volontiers graphique ; l'image des formes visibles qui l'enveloppent, l'enferment. Stylisée elle sera la

LES QUATRE PREMIERS NIVEAUX
DU DEVELOPPEMENT DU SYSTEME GENERAL

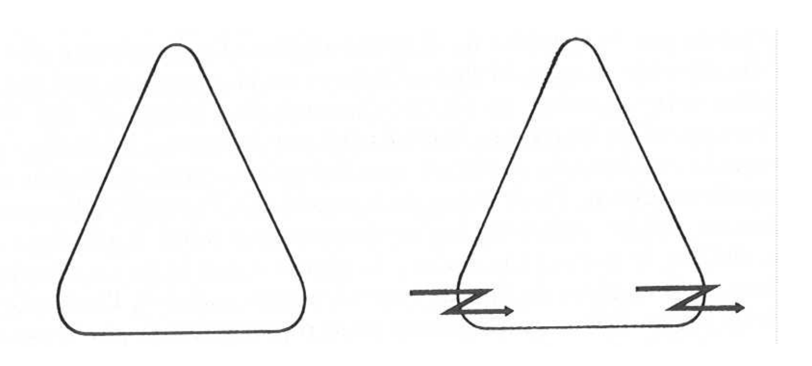


FIG. 6.1. — *L'objet passif* FIG. 6.2. — *L'objet actif*

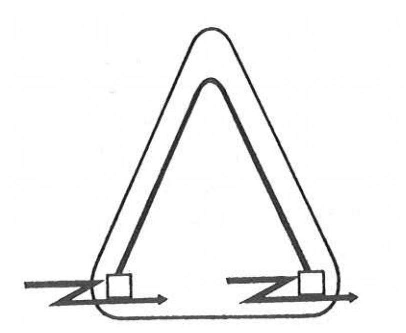


FIG. 6.3. — *L'objet régulé*

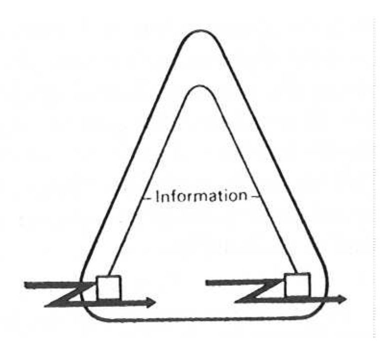


FIG. 6.4. — *L'objet informé*

sphère ou le cercle, symbole d'une harmonie universelle, symbole que Kepler, l'inventeur des trajectoires elliptiques des planètes, n'abandonnera qu'avec un extrême regret... pour un pauvre écart de 8 mm d'angle ! (Cf. Koestler, 1955, p. 378.) Cf. fig. 6.1.

Le deuxième niveau : l'objet actif

Le deuxième niveau est celui de la perception de l'objet actif. Il n'est plus seulement, il « fait » (ou, mieux, il « intervient » [1]), et nous le connaissons par son activité : la Terre est cet objet qui assure le mouvement de la Lune par rapport au Soleil, l'atome celui qui assure la cohésion de la molécule, le mot celui qui assure la signification de la phrase, le galérien celui qui provoque le déplacement de la galère ! L'horloge est connue par sa fonction, qui est de montrer l'heure, ce qui nous vaut d'attribuer quelques nécessités à ces autres objets que seront les rouages ou le cadran. Faire, c'est processer : être sensible à *l'événement*, extérioriser un *comportement* perceptible par le Système de Représentation. Le graphisme dès lors s'enrichit de simples flèches entrantes ou/et sortantes, qui symbolisent cette activité, ce fonctionnement de l'objet (cf. fig. 6.2). Internes, elles imageront l'objet actif par rapport à lui-même, sans autres fournisseurs ou clients que lui-même (ainsi peut-être cette représentation de l'univers ou de la machine). Externes, elles symboliseront l'objet actif dans son environnement (ainsi le moulin entre la rivière, le grain et la farine, la plante entre le gaz carbonique, l'eau et l'oxygène, la famille entre le corps social et l'individu...). Nous avons déjà pu caractériser cette représentation par le symbolisme de la boîte noire, ou mieux, de « l'engin noir ». Il révélait une autre hypothèse implicite mais très forte du modélisateur : ces activités sont tenues pour suffisamment *stables* dans le *temps*, l'activité de l'objet n'affecte pas nécessairement son *identité* au moins pour le Système de Représentation qui l'a initialement proclamée ! Parfois même il ne s'interdira pas de représenter par la même boîte noire diverses familles d'activités, divers comportements, qu'il observe différents mais dont il affirme la commune identité. Ainsi cette automobile en troisième ou en marche arrière, cette personne à l'usine et en famille.

---

1. C. MARTZLOFF (1975), dans une étude parfois contestable, a fort bien mis en évidence l'intérêt du concept d'« intervention » pour exprimer la spécificité de l'activité du Système Général.

Le troisième niveau : l'objet actif et régulé

Le troisième niveau est celui de l'objet manifestant quelques permanences, quelques *régularités* dans son activité. La représentation devient celle d'un *objet actif régulé.* Sa main droite est attentive à ce que fait sa main gauche, la chronique de ses comportements dans le temps n'est pas considérée comme erratique. L'objet semble refuser certains comportements possibles et ce refus semble interprétable par la considération de ses comportements antérieurs. L'arbre gorgé d'eau n'en consomme plus, la machine à vapeur surchauffée n'accélère plus les mouvements du piston, le régulateur à boule ayant refermé la vanne d'admission de la vapeur. Tout se passe comme si, observant l'évolution de ses comportements, l'objet se dotait de quelque dispositif interne par lequel il les *répercutait* afin de sélectionner son prochain comportement, tentant ainsi de récuser, fût-ce partiellement, le hasard au profit de quelque *projet.* Depuis quelques années, l'universalité de ces régulations a impressionné bien des chercheurs qui découvrent peu à peu la persistance de cette forme de représentation des comportements des objets actifs dans chacune de leurs disciplines respectives. Les actes du colloque transdisciplinaire du Collège de France sur la Régulation, s'ils sont quelque jour publiés ([a]), en portent témoignage. Son universalité, mais aussi sa simplicité au moins apparente. Le symbolisme par lequel nous rendons compte de ce passage de l'objet actif à l'objet régulé se réduit au graphisme d'une *relation de bouclage* (cf. fig. 6.3) : dans l'objet, la première relation identifiée' est une relation fermante qui recycle une partie des extrants en intrants, réduisant ou annulant ainsi la sensibilité comportementale de l'objet à tels ou tels événements. Relation neutre sans doute, mais conduisant à l'hypothèse d'un processeur spécifique de type F (une vanne par exemple, ou un *décodeur*) qui assure automatiquement une répercussion effective de l'extrant sur l'intrant. Cette différenciation entre la relation neutre de bouclage ou de rétromettance et les multiples types de processeurs de type F, qui peuvent lui être connectés, a le mérite de clarifier l'exposé et d'assurer une extrême généralité au concept de relation de bouclage. C'est pourquoi je suggère l'abandon du vocable de *feed-back* souvent utilisé pour désigner commodément (et avec quelque coquetterie) ce type de relation : à la lettre, *feed-back* se traduit certes par recyclage (ou rétro-approvisionnement), mais en pratique il est utilisé de façon beaucoup plus spécifique par les cybernéticiens pour désigner l'ensemble très particulier d'une relation fermante connectant un processeur codeur d'information de commande, à un processeur décodeur effecteur transformant cette commande en action. Son usage pour désigner en

outre toutes les relations bouclantes (porteuses d'information ou non) est abusif et source de nombreuses confusions en systémographie.

Le quatrième niveau : l'objet s'informe

Le quatrième niveau est celui de l'émergence de l'information dans la représentation de l'objet. On l'a quelquefois noté : *l'information est une idée neuve,* au moins dans la représentation scientifique des objets. Il a fallu en pratique attendre 1945, avec l'exceptionnelle conjonction des travaux de N. Wiener et A. Rosenblueth (attentifs surtout à la boucle et aux processeurs de régulation), de C. Shannon (attentif aux processeurs de type E : la transmission des signaux), d'Ashby (attentif au concept de processeurs informationnels) [1], pour que soit mis en valeur l'intérêt pour la systémographie d'une conceptualisation spécifique de cet artifice que nous appelons information. Et sans les théories des thermodynamiciens L. Brilloin (1955 et 1959) ou I. Prigogine (1948 et 1971) ou le prix Nobel 1965 des biologistes F. Jacob (1970), L. Lwoff (1962-1969) et J. Monod (1970), il est probable que nous aurions encore quelque difficulté à accepter la validité de cette hypothèse artificielle : tout se passe comme s'il existait aussi des informations, repérables par des relations informationnelles spécifiques, dans les objets que nous représentons. L'hypothèse n'est aisée, convenons-en, que lorsque nous considérons des objets humains ou sociaux, générateurs par définition de ces artefacts : reconnaître de l'information dans une plante ou un organisme vivant, *dans la machine ou dans l'animal* [2] et déclarer que ce nouvel objet a la même nature identifiable que celui que créent les êtres humains pour communiquer entre eux, relève de la gageure. Comme cette gageure s'est avérée féconde, elle nous devient acceptable, familière même. Il n'est pas inutile de nous remémorer sa jeunesse. Jusqu'en 1950 environ, la science représentait les objets processant matière ou énergie, mais pas information ! Différencier dans le réseau des processeurs ceux qui se spécialisent en information ; repérer notamment ceux, codeurs ou décodeurs, qui

---

1. Et de beaucoup d'autres : c'est également dans cette période 1940-1950 que démarrèrent les travaux sur l'information de D. Mac Kay et de L. Brilloin, par exemple ([b]).

2. On reconnaîtra le sous-titre du célèbre ouvrage de N. WIENER qui allait, en 1948, fonder la cybernétique : *Cybernetics, or control and communication in the animal and in the machine.*

génèrent les trains de signaux porteurs de signification, par lesquels nous reconnaissons l'objet information ; identifier les relations qui connectent ces processeurs informationnels aux processeurs matériels ou énergétiques ; rechercher en priorité celles de ces connexions qui interviennent dans les boucles de régulation, et qui souvent les assurent seules (ainsi le train d'impulsions électriques que le bilame du thermostat envoie à la vanne de commande du brûleur du système de chauffage régulé autour de 20°C) : ces nouvelles démarches proposées au modélisateur (cf. fig. 6.4) s'avèrent à l'expérience bien souvent fécondes, parfois aussi inextricablement complexes. Avant de les organiser pour les simplifier, il importe d'abord de peser soigneusement l'hypothèse modélisatrice essentielle : convient-on de la validité d'une différenciation de processus informationnels spécifiques au sein de l'objet à modéliser ? Convient-on, en particulier, de l'existence d'un tel processus pour assurer les bouclages de régulation par lesquels on avait antérieurement représenté la stabilité ou la permanence de l'objet actif ? L'expérience, récente, nous incite à répondre oui, avec enthousiasme... mais aussi avec circonspection.

Car il va nous falloir, ce faisant, affronter une nouvelle difficulté qui obérera souvent les communications relatives aux modèles construits systémographiquement ! Nous connaissons en effet ces modèles par de l'information artificiellement et délibérément créée par un Système de Représentation. Le modèle est de l'information, et nous connaissons l'objet par les informations qui décrivent ce modèle. Si, cas fréquent, le modèle rend compte aussi de schémas informationnels qu'il attribue à l'objet, nous connaîtrons donc ces informations (hypothétiques) par d'autres informations (dites de représentation). Cette intrication du Système de Représentation et de son produit, le modèle, s'avérera souvent source de confusion dans nos communications, dès que ces distinctions de base seront omises ou négligées. Ce qu'est présumé savoir un objet (une entreprise par exemple), sur lui-même, n'est pas de la même nature informationnelle que ce qu'un modélisateur de cette entreprise en connaît, même si ce modélisateur est un de ses membres (voire un de ses responsables).

Le cinquième niveau :
l'objet décide de son activité

Le cinquième niveau est celui de l'émergence de la décision. Elle va entraîner en cascade quelques conséquences essentielles qui vont

s'avérer constitutives de la théorie du Système Général en ne permettant plus son assimilation implicite avec la théorie d'ensembles (le livre de M. Mesarovic et Y. Takahara, qui porte le titre ambitieux de *Fondations mathématiques de la théorie des systèmes généraux* (1975), ne propose que les fondements d'une théorie des systèmes de niveau 1 à 4 et précise explicitement dès sa préface qu ne traitera pas des systèmes avec décision : *the so-called goal-seeking or decision-making approach*). Une des richesses les plus sensibles de la théorie est précisément d'apporter un certain nombre de concepts permettant la modélisation, sans être inhibée par l'insuffisance relative des êtres mathématiques actuellement disponibles et capables de les traduire et de les articuler. (À sa décharge, Mesarovic fait observer que son ouvrage précédent sur la théorie des système hiérarchisés — 1970 — *contient des éléments pour une théorie générale des systèmes complexes à décision*, ce qui est tout à fait exact ; nous ne manquerons pas d'en tirer parti ! Cf. chap. 8.)

Le passage des objets avec information différenciée aux objets avec décision différenciée n'est pas toujours aisé à diagnostiquer. Un des plus remarquables experts contemporains en modélisation le souligne très justement : *Bien que, dans leur nature profonde, les actes d'information et de décision soient très distincts, il est parfois difficile dans la pratique d'établir la frontière entre les deux* (J. Lesourne, 1972, p. 182). On peut certes définir la décision comme un objet ayant la même apparence qu'une information, le même support (des signaux), doté d'une propriété exclusive complémentaire : il est présumé devoir provoquer une action prédéfinie, une modification connue du comportement du ou des processeurs qui le reçoivent en le différenciant parmi leurs intrants. Ces informations-décisions ont donc une originalité très spécifique et le modélisateur, qui se propose de connaître ou d'anticiper les changements de comportement de l'objet, sera légitimement tenté de privilégier leur identification, si son diagnostic le conduit à en repérer. Ce qui sera certainement le cas lorsque *l'action* (nous dirons souvent : l'intervention) *d'un système est un événement pour l'occurrence duquel aucun changement dans l'environnement du système n'est ni nécessaire, ni suffisant* (R. L. Ackoff, 1971). Autrement dit, lorsque, n'étant pas inévitable, le choix de cette action a dû être *décidé,* décidé par l'objet lui-même. Nous pourrons alors faire l'hypothèse que nous devrions trouver quelques décisions circulant et donc créées dans ce système... et, par là même, que nous devrions identifier quelques processeurs spécialisés dans la génération de ces décisions.

L'objet a donc quelques projets

De tels processeurs auront nécessairement deux caractéristiques fondamentales dont le repérage constituera bien souvent l'essentiel de l'activité du modélisateur :

— D'une part, leurs intrants seront nécessairement des informations et on pourra toujours les représenter légitimement de façon à ce qu'ils ne processent que des informations. On ne les rencontrera donc que dans des processus strictement informationnels. Ces informations pourront être de représentation (il y en aura toujours au moins une de ce type) et de commande. Ce qui implique que les systèmes généraux de niveau 5 soient d'un ordre supérieur à ceux de niveau 4, et qu'il ne sera pas toujours nécessaire de faire appel à ce type élaboré pour représenter des objets dont le comportement, complexe ou non, peut être considéré comme entièrement déterminé par leur environnement (cas fréquent de bien des automates industriels en particulier). L'expérience modélisatrice prouve souvent, en revanche, la commodité pratique de cette différenciation, de ce désaccouplage des informations de représentation et des décisions d'action.

— D'autre part, et surtout, ces processeurs décisionnels devront être caractérisés par une hypothèse sur leur *logique interne :* cette hypothèse est inévitable et pour l'avoir ignorée, voire niée, bien des analyses et *a fortiori* des conceptions de systèmes ont achoppé, et bien des présentations de qualité de la théorie du système se sont révélées bien malaisément utilisables (je pense par exemple à la remarquable étude de P. Delattre, 1971). Il faut en effet faire l'hypothèse que le comportement de ces processeurs décisionnels n'est pas le jouet du seul hasard. *Le temps* sans doute, nous rappelle Héraclite, *est un enfant qui joue en déplaçant des pions,* et ce jeu, nous le savons, *ne va pas sans danger* pour l'objet. Son unité, son identité s'interpréteront dans une dialectique, celle *d'un enfant qui a compris le jeu* (K. Axelos, 1971, p. 54) et qui, l'acceptant, se propose de jouer contre ce hasard en en tirant parti à sa guise pour satisfaire quelques *projets.* Sans l'hypothèse de ces projets, la modélisation des comportements de l'objet que ne déterminerait pas totalement son environnement nous apparaît quasi impossible, inintelligible. Il ne nous faut pas nécessairement connaître le ou les projets de l'objet modélisé, mais il nous faut, pour le représenter, *faire comme si* il en avait au moins un. Il nous faut, à ce stade, attribuer à l'objet que nous modélisons cette *nécessité* que lui refusait Descartes (cf. chap. 1, p. 17). Le biologiste, loyalement, y était acculé : il nous faut *reconnaître le caractère*

téléonomique [1] *des êtres vivants à admettre que dans leur structure et performance, ils réalisent et poursuivent un projet* (J. Monod, 1970, p 33). Remplaçons être vivant par objet, performance par activité : nous sommes conduits à généraliser le discours, presque spontanément (alors que J. Monod, par un impérialisme disciplinaire inconscient réservait aux seuls êtres vivants cette propriété fondamentale de téléologie (cf. p. 22)). Cette nécessité systémographique de l'hypothèse téléologique (l'objet est présumé doté de projets) impliquait sans doute, on fa souligné, *une contradiction épistémologique profonde* (J. Monod, p. 33) dans le référentiel cartésien. Le biologiste résolvait cette contradiction, dans le cas de la modélisation des êtres vivants, par la prise en compte de *l'hypothèse informationnelle* (notre quatrième niveau). Pour la résoudre dans la modélisation la plus générale de tout objet physique ou vivant, social ou conceptuel, il nous faut spécifier *l'hypothèse décisionnelle : tout* se passe comme si la logique du comportement de l'objet par rapport à ses projets était traitée par un groupe de processeurs différenciés, les *processeurs décisionnels* : leurs intrants sont des informations, leurs extrants des décisions d'intervention au sein du Système Général, leur processement, celui des *logiques* qui se réfèrent par rapport aux projets de l'objet. Tous se passe comme si ces projets étaient confiés à ces processeurs décisionnels. Nous *considérons en conséquence que la formalisation de la téléologie* (goal-secking) *et celle d'un processus décisionnel général* (decision making) *constituent un même concept* (Mesarovic, 1975, p. 261).

Cette interprétation téléologique (finaliste donc) de l'objet permet à la modélisation de franchir une étape que lui interdisait l'interprétation déterministe (causaliste donc). Cette interprétation conduit à une option permanente de *séparabilité.* Désormais, dans la représentation de tout objet, nous établirons d'abord deux processeurs au moins : le processeur décisionnel et le reste de l'objet (on dira souvent le *processeur opérant)* et une connexion informationnelle bouclante au moins entre ces deux processeurs : information de représentation en amont, de décision en aval. Le groupe des processeurs décisionnels sera le détenteur des projets de l'objet, de ses finalités. La figure 6.5 image à la fois la traduction graphique du cinquième niveau et la vision du monde qu'implique la systémographie.

---

1. Nous parlerons plus volontiers de *téléologie,* la formule *téléonomie* semblant devoir être réservée au cas des objets auxquels on n'attribue qu'un seul projet. Le choix du mot ne doit pas masquer la permanence du concept, que T. VOGEL (1973, p. 47) rappelle courageusement : *Nous employons ici un terme rendu populaire par J. Monod, mais qui, étymologiquement et conceptuellement, se confond bien avec le concept décrié de finalité, sauf quant aux résonances affectives que ce dernier comporte* (cf. aussi n. 1, p. 32).

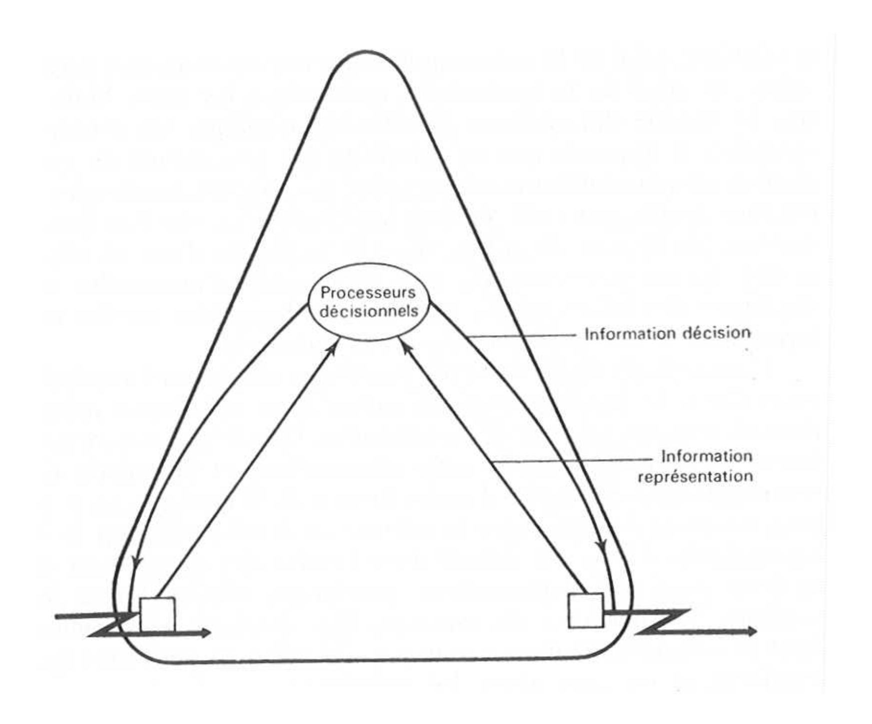


FIG. 6.5. — *L'émergence des processus décisionnels au sein du Système Général : le cinquième niveau*

Le sixième niveau :
L'objet actif a une mémoire

Le sixième niveau est celui de l'émergence de la mémoire. En déployant séquentiellement l'éventail de la systémographie, il eût peut-être été légitime de présenter le volet mémoire juste après le volet information, mais avant le volet décision. Les modèles de systèmes héréditaires ou *non amphydromes, qui menacent le caractère achevé de la dynamique de 1890* [1] *à laquelle il ne manquait rien d'essentiel* (T. Vogel, 1973, p. 35), sont typiquement à la charnière des deux grands panneaux que la théorie du Système Général prétend synthétiser, celui de la mécanique, qui recouvre les quatre premiers volets, et celui de la systémique, qui intègre les neuf. Mais bien que le modèle des systèmes héréditaires implique un concept de mémoire, il

1. Ce que nous appelons communément aujourd'hui la mécanique rationnelle et statistique.

apparaît que sa définition des processeurs de mémorisation est particulièrement restrictive par rapport à celle que nous devrons développer : elle entend beaucoup plus une fonctionnelle linéaire (du type de *l'équation*, voire de la *fonction d'état*, cf. chap. 7 et 10) qu'un processeur de type T, capable d'accumuler et de dupliquer des informations, sans aucune hypothèse sur les transformations *ex ante* ou *ex post* de ces informations [1].

L'examen de l'activité d'un processeur décisionnel conduit en revanche à le localiser nécessairement dans un réseau informationnel, dans un *processus de communication.* On n'a pas encore épuisé toutes les conséquences de cette observation, et la théorie de la communication est encore dans les limbes. A. Wilden (1972, p. 375) peut pourtant armer que *la mémoire est le* sine qua non *de toute communication* et que sa *priorité* dans l'ordre des processeurs d'un système peut être légitimement proclamée. On se borne ici à souligner l'importance du concept. Un décideur sans mémoire dont le comportement ne serait pas aléatoire ne peut être qu'un *algorithme* et on peut donc lui substituer cet algorithme (cette *longue chaîne de raison toute simple* dont on sait, en la tirant, qu'elle a nécessairement une fin, un résultat). Peut-être sera-t-il commode encore de modéliser cet algorithme au sein d'un processeur décisionnel ? C'est souvent ce que feront, à bon droit, les automaticiens développant des *algorithmes d'optimisation* au sein de *systèmes de commande.* Mais cette commodité n'est pas « nécessité », et depuis le régulateur à boule de Watt, nous sommes accoutumés à programmer l'algorithme dans la structure du processeur opérant, au lieu d'en garder la *trace* dans un processeur décisionnel artificiel).

Lorsque la logique impliquée par les projets ne sera pas aussi parfaitement archétypable, les processeurs ne disposeront que *d'heuristiques qui ne leur disent pas quand il convient de les arrêter.* G. Weinberg, 1975, p. 55, éclaire cette observation par l'histoire charmante du *petit garçon qui avait appris comment épeler papa, mais à qui on n'avait pas enseigné quand il fallait s'arrêter !* Il importe donc que les processeurs disposent de quelque *tampon*, qui désaccouple suffisamment leur production (les heuristiques en service) de leur produit (les décisions d'action). Il leur importe en outre d'accéder non seulement à la représentation de l'événement instantané, mais aussi à la chronique des événements antérieurs, parce que le projet qu'ils portent s'inscrit dans le temps et qu'il leur importe de concevoir la prochaine décision par rapport à cette histoire.

---

1. À la même frontière se situent les développements de R. ASHBY qui le conduiront d'ailleurs à convenir que la *possession d'une mémoire n'est pas une propriété plénière ni objective d'un système* (1956, p. 116). A. WILDEN (1972, p. 374) fera une critique très fine de cette position en montrant qu'elle conduit Ashby à une *cybernétique mécanique* (système fermé plutôt que *systémique*).

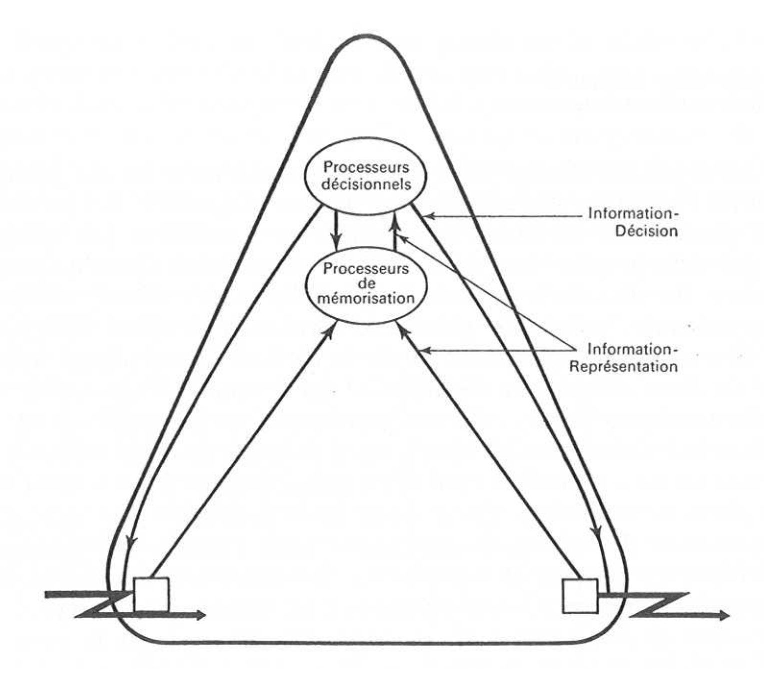


FIG. 6.6. — *L'émergence de la mémoire au sein du Système Général*

Il faut donc séparer au sein du Système Général une autre famille de processeurs, différente des précédentes ; *les processeurs de mémorisation* de type T, ne processant que des objets, information, connectés nécessairement à un processeur décisionnel en aval, et à un processeur opérant en amont. On a vu d'ailleurs (cf. chap. 5, p. 77) la spécificité de ces processeurs de mémorisation, capables non seulement de transférer des informations dans le temps, mais aussi de les dupliquer, et de les restituer au système selon des modalités d'accès prédéfinissables. La figure 6.6 symbolise ce sixième niveau dans notre vision génétique du Système Général. Sa fécondité modélisatrice n'a pas encore semble-t-il été explorée avec assez de soin, malgré quelques contributions décisives de la science informatique ; nous en illustrerons quelques aspects en introduisant les concepts d'organisation (chap. 8) et de *reproduction* (chap. 12) du Système Général.

Le septième niveau : l'objet actif se coordonne

Le septième niveau est celui de la *coordination* ou du *pilotage.* L'objet se différencie souvent dès qu'un diagnostic le concerne. Les processeurs décisionnels semblent se spécialiser par projets ou par sous-projets ; leur *adhérence* aux processeurs opérants paraît épouser les diversités de ces derniers ; les interventions affectent conjointement plusieurs processus environnementaux différents qu'elles solidarisent. Le désarroi du modélisateur, un instant apaisé par les deux critères de séparabilité qu'il venait de découvrir (la typification des processeurs en processements de type TEF et en opération-information-décision), va reprendre de plus belle, et la théorie ne sera plus désormais d'un grand secours pour activer son imagination créatrice, sinon pour la contraindre par quelques propositions de cohérence interne, et pour l'affiner par quelques précisions spécifiques (les *processeurs de maintenance*, cas particulier important des processeurs opérants : cf. chap. 9, p. 163, *et les processeurs de finalisation :* cf. p. 115). Ce désarroi est le prix de la liberté du système de représentation et il ne doit pas l'inhiber. La systémographie n'interdit pas le droit à l'erreur, si elle fait confiance à la fécondité des processus d'apprentissage dans les systèmes de représentation !

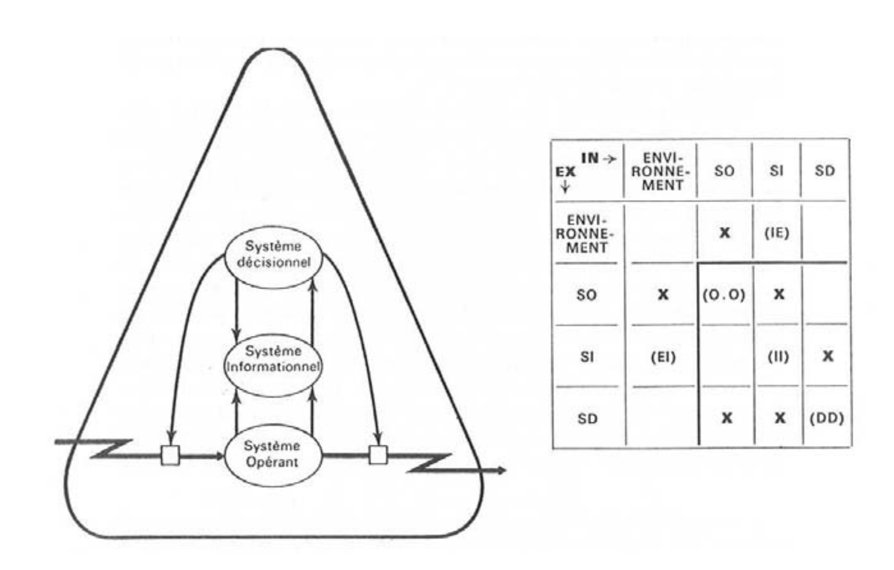
P R O C E S S E U R S intervenant dans un sous-système				
		OPÉRANT	**IN**FORMATIONNEL	**D**ÉCISIONNEL
PROCESSEURS	Type **T**	(magasin)	(mémoire)	(mémoire)
	Type **E**	(transport)	(communication)	(commande)
	Type **F**	(usinage)	(calcul)	(réflexion)

FIG. 6.7. — *La grille « processements produits » (TEF-OID) et quelques exemples de processeurs illustrant cette typologie des processeurs au sein d'un Système Général*

Supposons alors un instant une partie de la tâche résolue : une première énumération des divers types de processeurs sélectionnés dans la boîte de mécano a été faite, que représentera symboliquement,

par exemple, la grille processements-produits de la figure 6.7 (TEF-OID). Le dessins du *tableau des connexions* devient alors la tâche suivante. La *matrice structurale* étant construite, il faut la remplir : case par case, zéro ou un ? Si elle compte 10 000 cases (100 processeurs élémentaires différents : cas banal), faudra-t-il 10 000 questions, sans réponses toujours simples, et dont la validité parfois sera fugace ? : à T ! fT, le réseau des processeurs se sera peut-être déformé ! Pas nécessairement, et pas toujours. Deux règles de nature différente vont en effet être dégagées par la théorie visant à alléger sensiblement la tâche du systémographieur.

La première résulte des définitions que l'on s'est données pour identifier les processeurs : les « décisionnels » interviennent sur les « opérants », et les « informationnels » interviennent au service des décisionnels. L'origine des informationnels est nécessairement une des familles d'extrant des opérants, et parfois des décisionnels. Un schéma type de matrice structurelle clarifie peut-être l'exposé.



IN → EX ↓	ENVIRONNEMENT	SO	SI	SD
ENVIRONNEMENT		X	(IE)	
SO	X	(O.O)	X	
SI	(EI)		(II)	X
SD		X	X	(DD)

FIG. 6.8 — *La matrice structurelle du Système Général articulé selon les trois agrégats de base : S. Opérant, S. Informationnel et S. Décisionnel*

Cf. fig. 6. 8 : *a priori* le tiers seulement de la matrice doit être balayé pour identifier les connexions interclasses. Ne négligeons pas pourtant, pas plus là qu'ailleurs, la représentation des processus dans laquelle intervient le Système Général considéré : il ne nous en coûtera, au minimum, qu'une ligne et une colonne supplémentaires (200 cases si la matrice en comptait déjà 10 000). Et le tiers (ou peut-être les deux tiers) de ces nouvelles connexions possibles seul pourra être connecté, et devra donc être exploré.

La deuxième résulte de l'examen des neuf (ou des seize) sous-matrices ainsi typifiées dans le dessin du modèle systémique de l'objet. Si les connexions internes de la classe « 0 » *sont ce qu'elles sont* (la sous-matrice (00) est le modèle interne du sous-système opérant), celles de la classe « I » (sous-matrice (II) : le modèle interne du sous-système d'information) seront en général plus aisées à sélectionner avec un apparent arbitraire. Il importe en général plus de *concevoir* que de *décrire* un système d'information. Ils se bâtissent aisément autour d'un groupe de processeurs de mémorisation interconnectés ou poolés. Les connexions de la classe « D » (la sous-matrice DD : le modèle du système interne de pilotage, ou de commande) méritent en revanche quelques commentaires spécifiques car elles révèlent l'émergence d'un nouveau concept fécond en systémographie : celui de *coordination* [1].

Que les connexions du système de pilotage sur le système opérant soient de type arborescent ne saurait surprendre : l'application de la *règle du coin haut droite de la diagonale principale* (cf. chap. 5, p. 87) de la matrice structurelle confirme nécessairement les définitions du modélisateur. Dans ce cas particulier, cette arborescence qui ne véhicule que des informations-décisions d'action a été archétypée sous le nom de *hiérarchie* (cf. chap. 5, p. 89). Mais rien ne nous contraint *a priori* à modéliser également sous une forme arborescente et donc hiérarchique le système de pilotage interne (la sous-matrice DD de la fig. 6.11). Rien, sinon une paresse intellectuelle naturelle et une habitude à représenter des objets dotés d'un seul projet, lui-même réductible en parties fractionnables. Doit-on par exemple contraindre notre représentation du cerveau de l'être vivant (lorsqu'on fait l'hypothèse qu'il constitue le système de pilotage de cet objet) à être hiérarchique ? Quel sera alors le processeur suprême, le *supremum* selon Mesarovic (1970, p. 57) ? Pourrons-nous observer des connexions qui puissent être représentées par ce réseau hiérarchisé ? Dans l'état actuel des examens disponibles, il apparaît aujourd'hui possible de systémographier le cerveau : mais le modèle

---

1. On préfère ce terme à celui *d'intégration,* pourtant plus fréquemment utilisé dans la littérature. Les connotations d'intégrations sont en effet très fortes, et suggèrent souvent que le seul projet d'un objet est d'assurer ou de sauvegarder son intégration, fût-ce au prix de sa quasi-passivation (cf. la caricature *usuelle* de l'intégration parfaite : *la bureaucratie).* Le mot coordination rend compte, me semble-t-il, plus justement de l'intention. Il s'agit d'une fonction à assurer, et pas nécessairement d'un projet impératif.

ne révèle aucun processeur suprême, et la matrice structurelle correspondante montre bien des interrelations rétromettantes. Cette absence de hiérarchie interne n'interdit pas, en pratique, de modéliser pourtant de façon satisfaisante ce système de pilotage doté de bien des projets simultanés ! L'observation est triviale mais nécessaire parce que peu familière : la simplicité conceptuelle du réseau hiérarchique inhibe souvent, semble-t-il, l'aptitude du Système de Représentation à en concevoir d'autres. Cette inhibition a peut-être une autre origine. Pour la réduire, il faut en effet doter les processeurs décisionnels d'une nouvelle caractéristique spécifique (ch. chap. 5, p. 78 et chap. 8, p. 142) : *une capacité de coordination* impliquant des développements de leur *capacité relationnelle* (le nombre d'autres processeurs avec lesquels il peuvent effectivement être connectés) et leur *capacité de traitement* des informations (par une analogie légitime avec les systèmes de décision-êtres humains, on parlera souvent de la *capacité cognitive*).

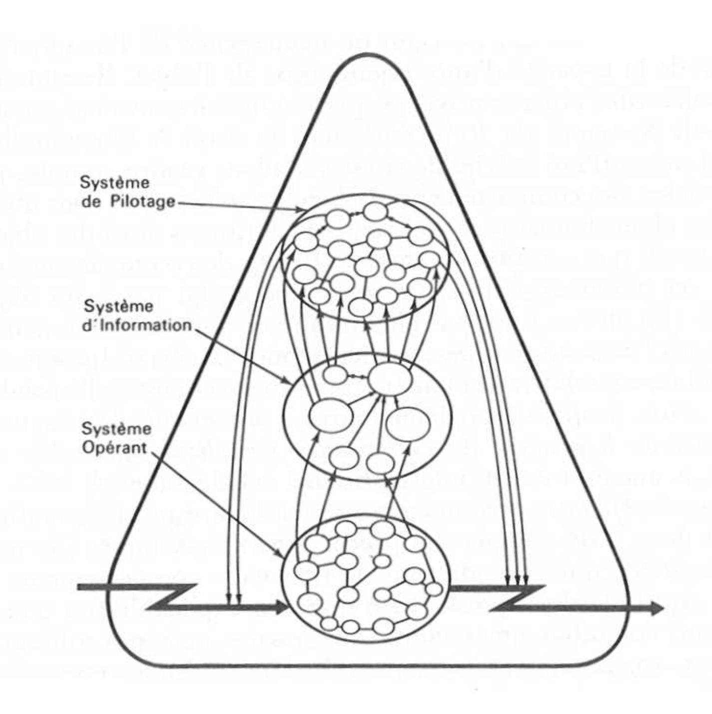


Fig. 6.9. — *L'émergence de la coordination des processus par le réseau informationnel, au sein du Système Général*

Une telle hypothèse n'est pas encore aisément maîtrisée par la théorie, et nous ne disposons guère que des contributions de Mesarovic (1970) (*une théorie de la coordination* dans le cas simple d'un système mono-projet optimisable) et de Marshack et R. Radner (1970 : *une théorie des coalitions*) pour amorcer une formalisation plus générale de ce concept de coordination. Dans l'immédiat il importe surtout d'identifier le phénomène afin de ne pas s'astreindre à plier le réel au modèle (hiérarchisé) sous le prétexte douteux que la mathématisation des modèles internes des processus décisionnels avec boucles mais sans commande n'est pas encore dégagée (pourra-t-elle l'être complètement ? La considération des deux derniers niveaux permet d'en douter, si elle n'interdit pas de le souhaiter ?).

La figure 6.9 symbolise l'émergence de ce niveau de la coordination. Non plus par l'apparition de nouveaux types de processeurs, mais par l'identification du potentiel des connexions possibles.

Le huitième niveau :
l'objet actif imagine, donc s'auto-organise

Le huitième niveau est celui de l'émergence de l'imagination et donc de la capacité d'auto-organisation de l'objet. Reconnaître aux modèles de l'objet ce privilège que les physiciens avaient accordé aux seuls Systèmes de Représentation, le droit à l'imagination, devient aujourd'hui inévitable si nous voulons rendre compte, par nos modèles, des comportements de bien des objets que nous observons (les objets humains et sociaux, bien sûr, mais aussi des objets-artefacts tels que certains systèmes originaux de reconnaissance des formes ou d'auto-apprentissage, voire, pourquoi pas ?, les objets naturels : Kepler ne fut-il pas bien inspiré en cherchant à entendre par l'esprit *l'harmonie des astres* dans leurs mouvements réciproques ?). L'hypothèse est relativement aisée à prendre en compte ; elle conduit à doter d'une propriété supplémentaire les processeurs décisionnels : une aptitude à générer de *l'information symbolique* sans relier cet extrant à aucun intrant informationnel ou décisionnel, ni à un décodage du *bruit* qui accompagne souvent les intrants informationnels ; et donc à développer des processements spécifiques (de nouvelles *logiques*), qui engendreront de nouveaux comportements de l'objet. Aptitude descriptible, bien que non explicable (on pourra cependant en établir une condition nécessaire mais pas suffisante) (cf. chap. 10, p. 181) et souvent évaluable ; aptitude reconnue et acceptée comme perturbatrice, puisque injectant dans le système des informations-événements supplémentaires, perçues à leur tour éventuellement comme bruit par certains processeurs et décodées par d'autres. Perturbations qui engendrent ainsi de nouvelles familles de décision, qui ne pourront être mises en

œuvre qu'au sein du système, et qui se traduiront souvent par la sélection de nouveaux *réglages* des processeurs opérants, ou par l'établissement de nouvelles connexions parmi les processeurs du système, modifiant ainsi son comportement : autrement dit par l'apparition de *facultés auto-organisatrices* au sein du modèle de l'objet. Les traces que ces chroniques d'événements internes laisseront dans la mémoire de l'objet pourront éventuellement s'y agencer selon des séquences interprétables par un processeur décisionnel, ce qui permettra d'interpréter conjointement les phénomènes *d'apprentissage* au sein du système. La modélisation de ce niveau, qui marque l'émergence de *l'intelligence,* puis ultérieurement de la conscience (cf. Le deuxième niveau), s'accompagne habituellement du développement d'une connexion informationnelle directe entre l'environnement et les processeurs informationnels (la case (IE) de la matrice structurelle présentée à la fig. 6.8). La figure 6.10 symbolise cette nouvelle étape du scénario modélisateur.

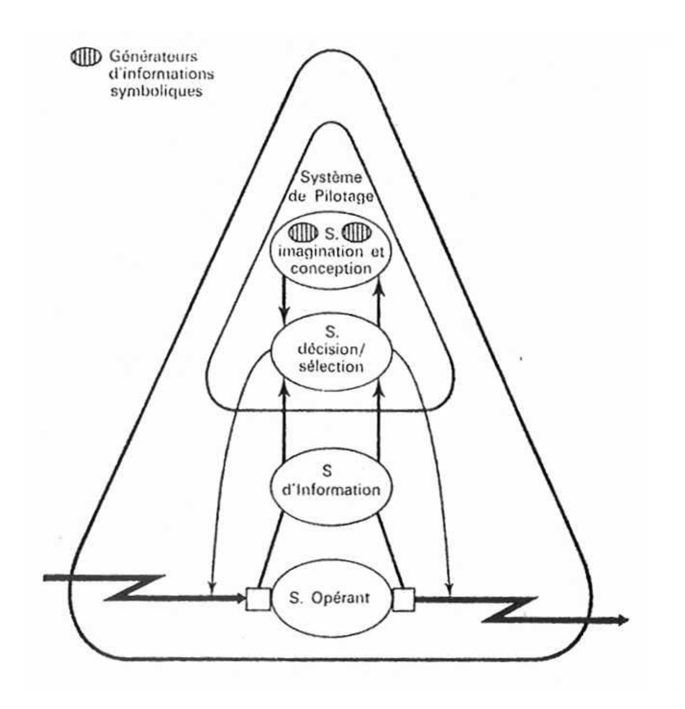


FIG. 6.10 — *L'émergence de l'imagination au sein du système de pilotage du Système Général Apparition conjointe des générateurs d'information symbolique*

Le neuvième niveau :
l'objet actif s'autofinalise

Le neuvième niveau enfin semble être celui de la *finalisation*. Il nous faut non seulement modéliser l'objet doté de projets, il faut aussi être en mesure de rendre compte de l'aptitude de l'objet à engendrer lui-même ses projets : s'il peut être finalisé, il peut aussi être finalisant, ou finalisateur. Émerge la modélisation de la conscience ! La dialectique sartrienne du *pour soi* et de *l'en soi* ne relève-t-elle pas cet incroyable défi ? Avec pragmatisme, la systémographie conviendra qu'elle peut, sans se renier, affecter au système de pilotage la charge de supporter cette ultime émergence : *Les finalités d'un système*, rappelle J. Mélèse (1972, p. 53), *ne peuvent se comprendre et* a fortiori *se construire que par rapport à ses relations avec l'extérieur… Le système… se caractérise comme l'interface entre une volonté finalisatrice et l'environnement*. Cette volonté finalisatrice est encore un concept imprécis (la conscience est intentionnalité et pourtant fatalement libre : J.-P. Sartre), et la théorie ne peut ici que

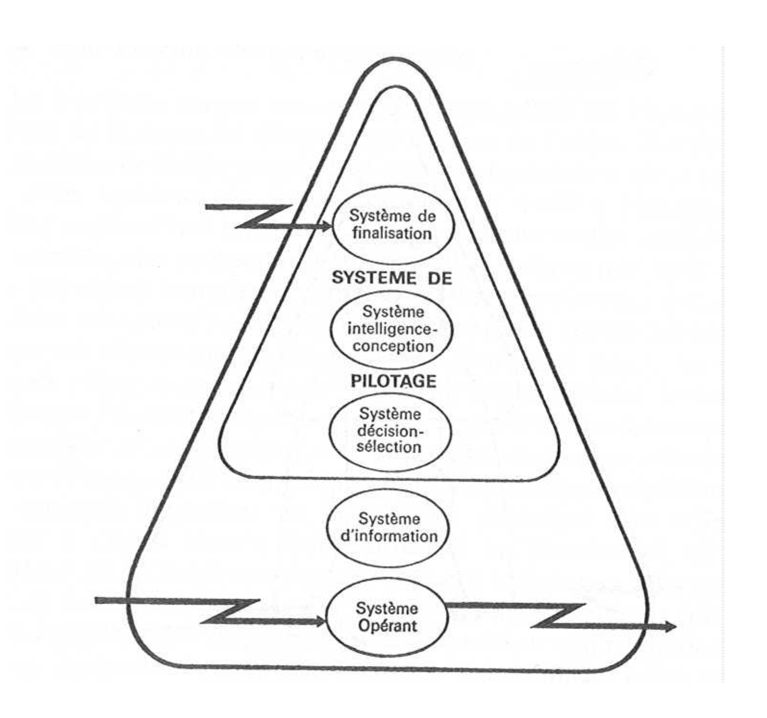


FIG. 6.11 — *L'émergence de la conscience au sein du système de pilotage du Système Général : par le système de finalisation*

(On n'a pas représenté les interrelations entre les sous-systèmes pour ne pas alourdir le dessin)

préparer une structure d'accueil à des développements qui restent à poursuivre. Le chapitre que P. Tabatoni et P. Jarniou (1975) consacrent aux *systèmes de finalisation dans les organisations* constitue probablement l'élaboration la plus avancée dont nous disposions à ce jour [1]. Ils nous conduisent aux limites de notre propos en convenant que cette fonction finalisante affectera *in fine l'identité* même de l'objet. Peut-on alors prétendre représenter par un même système, fût-il complexe, deux objets qui se veulent différents en s'identifiant différemment ? Dans l'immédiat demandons à la théorie de nous autoriser à modéliser un processus interne que l'on sait encore bien mal identifier sur le terrain : le système interne de finalisation. À force de tenter de le systémographier, en *conception plus* encore qu'en *analyse*, nous parviendrons probablement à mieux le conceptualiser. La figure 6.11 symbolise..., en guise de conclusion provisoire, le graphisme type de l'objet actif systémographié auquel nous conduit la définition génétique du Système Général [2]. L'investigation plus attentive de la représentation de l'objet, reconnu comme structuré et évoluant, nous conduira sans doute à enrichir et à affiner ce schéma type, en y explicitant en particulier une composante *dynamique* (ou *diachronique*), que le dessin bidimensionnel ne révèle pas aisément ; mais ces enrichissements n'affecteront pas les œuvres vives du concept de Système Général, tel que nous le livre ce premier grand volet de la théorie : *la modélisation de l'objet actif par une intervention finalisante, structurée en un réseau de processeurs, dans ou sur un environnement fait de processus.* Une telle interprétation génétique de nos représentations de l'objet ne nous permet-elle pas de relever un des défis que T. Windeknecht (1971, p. 41) lançait à la théorie du système : *il est fondamental que la théorie explique comment un système donné peut être décomposé en sous-systèmes, ou encore comment il peut être réalisé comme une interconnexion d'autres systèmes ?*

*

* *

---

1. Dans le même esprit, citons quelques lignes du sociologue A. TOURAINE (1965), qui a très explicitement mis en lumière l'importance de ce processus de finalisation dans les systèmes sociaux : « *une action sociale n'existe que si en premier lieu elle est orientée vers certains buts... L'essentiel est de reconnaître que le sens d'une action ne se réduit pas à l'adaptation de l'acteur à un système plus ou moins institutionnalisé de normes sociales, ni aux opérations de l'esprit que manifeste toute activité sociale* ».

2. Certains auteurs complètent ce schéma en introduisant un quatrième sous-système, important pour certaines modélisations : Le système de maintenance (M. K. PHERSON, cf. chap. 9, p. 207). Nous n'avons pas voulu surcharger ici une présentation déjà dense, et nous avons admis implicitement que ce système de maintenance était agrégé dans le système opérant. (De même qu'un éventuel système de diagnostic est agrégé au système de pilotage.)

▶ Relecture

Le modèle du développement quasi embryologique du Système Général que l'on a emprunté à K. Boulding (en l'adaptant, convenons-en, à nos prémices épistémologiques d'une méthodologie instrumentale de la modélisation) s'avère, à l'expérience, d'une réelle commodité pédagogique [1] autant que d'une grande généralité théorique : on peut en effet y intégrer sans le distordre toutes les classifications de systèmes conceptuels qui ont été proposés jus qu'ici ; le système « de niveau six » (cf. fig. 6.6 et 6.8) constitue en particulier une forme symbolique très générale qui permettra cette articulation *a priori* donnant à tout constructeur de modèles un cadre de départ épistémologiquement argumenté : tout modèle systémique s'organise par la mise en correspondance d'un *système opérant* (SI) et d'un *système de décision* (SD), par l'intermédiaire d'un *système d'information* (SI) (ou de *mémorisation*). On retrouvera ce même schéma de base à trois niveaux : SO, SI, SD, si lorsqu'on passera d'une représentation systémique synchronique à une représentation diachronique (cf. chap. 1, 8, 9 et 12), autrement dit lorsque l'on formalisera le processus *d'équilibration* de *l'organisation* d'un système par interprétation de sa capacité de mémorisation. Ce schéma s'avérera de ce fait très puissant pour définir les méthodes de conception des systèmes d'information organisationnels [2]. Il permet d'expliciter le passage du modèle cybernétique classique à deux niveaux (un système commandé et un système de commande, le *control-system*) au *modèle systémique de l'organisation à trois niveaux*, par conceptualisation du système d'information se différenciant à l'interface : passage symbolique de la modélisation du *réflexe* à celle de la *réflexion.*

La discussion des trois derniers niveaux qui proposent une sorte d'archétype fonctionnel portable de tout système de décision en un système de coordination (ou d'exécution), un système d'imagination (de conception d'action) et un système de finalisation (ou d'intelligence) conforte également le modèle général des systèmes de décision organisationnels : on reconnaîtra par exemple le modèle systémique des processus décisionnels proposés notamment par H. A. Simon, ce qui conduira à interpréter la phase *intelligence* de la

---

1. En témoigne l'usage qu'en propose D. DURAND dans le « Que sais-je ? » qu'il a consacré à *La systémique*, 1979.

2. Voir par exemple H. TARDIEU, D. PASCOT, D. NANCI, *Conception des systèmes d'information,* 1979, en particulier les chapitres 1 et 2.

décision (selon H. Simon [1]) comme un processus inépuisable de finalisation se renouvelant par l'action dans les environnements du système. Peut-être pourra-t-on, par ailleurs, généraliser ce concept de système de décision par la prise en compte du concept plus large de *système de computation*, au sens où l'a introduit H. Simon (système de traitement de symbole ! [2]), ou J. Piaget (système de construction de schèmes d'assimilation [3]) : la formule a été introduite récemment par Edgar Morin [4] et elle semble permettre une théorisation qui évite les ambiguïtés épistémologiques des théories de la décision par exemple.

Notes complémentaires pour la deuxième édition

([a]) Ces actes sont désormais publiés, cf. note 1, p. 125.

([b]) On trouvera d'autres références importantes dans J.-L. LE MOIGNE et R. VALLEE, *AFCET* (1982).

---

1. Voir notamment *The new science of management decision* (1959, rééd. 1977) et la discussion de ce modèle proposée dans J.-L. LE MOIGNE, *Les systèmes de décision dans les organisations,* 1974 (chap. 2).

2. Voir notamment A. NEWELL et H. A. SIMON, *Human Problem Solving,* 1972.

3. Voir par exemple J. PIAGET, *Biologie et connaissance,* 1967, p. 75.

4. Voir *La Méthode,* t. II (1980), p. 183.

TROISIEME PARTIE

le système général, modèle de l'objet STRUCTURÉ

« Le modèle du système est le système des modèles, non plus par accumulation, mais par organisation. »

(M. SERRES, 1968, t. I.)

« Un principe d'action qui non pas ordonne mais organise, non pas manipule mais communique, non pas dirige mais anime. »

(E. MORIN, 1977, t. I.)

« Les principales théories mathématiques des systèmes, la cybernétique, la théorie de la décision (ou de la détection), la théorie des jeux, la théorie de la communication ont quelques éléments en commun qui en font des théories formalisées de l'organisation. »

(H. QUASTLER, 1964.)

« Même l'atome, ce vieil irréductible, est devenu un système. Et les physiciens ne sont pas en mesure de dire si la plus petite des entités connues aujourd'hui est ou non une organisation. »

(F. JACOB, 1970.)

« Le terme « système » est utilisé ici pour décrire un système global, holistique. En utilisant ce terme, nous ferons abstraction des constituants et nous nous référerons seulement à l'organisation de ce tout. Ainsi « système », pour notre discussion, veut dire organisation holistique. »

(A. ANGYAL, 1941.)

« La caractéristique vraiment importante des problèmes du « domaine central » que la science n'a encore qu'à peine exploré ou conquis tient à ce qu'ils montrent tous une caractéristique essentielle d'« Organisation ». »

(W. WEAVER, 1947.)

« Car, dans le total, les moyens font partie de la fin. »

(LEIBNIZ, 1711.)

« Je ne sépare plus l'idée d'un temple de celle de son édification... Ce qui fait, ce qui est fait sont indivisibles. »

(P. VALERY, 1921.)

CHAPITRE 7

		A	S	E
3	**F**	4	**7**	10
2	**O**	5	8	11
1	**G**	6	9	12

le programme du système général :

la trajectoire de l'objet

1. Le Système Général : dans quel état ?

La dialectique du variant et de l'invariant

L'objet fonctionne dans le temps. Telle est, peut-être, l'hypothèse la plus sûre que nous livrent les trois chapitres de discussion de notre prémice initial ; l'objet *existe* dans le temps (cf. p. 61), il exerce le changement en le subissant ; *sans changement, sans mouvement, le monde qui nous entoure serait un monde sans phénomènes...*, inaccessible donc à notre connaissance. *Mais si tout ce qui est accessible à notre connaissance changeait simultanément, nous n'aurions aucun moyen de décrire ce qui nous entoure* (P. Delattre, 1971, p. 179), nous ne pourrions systémographier ! Nous ne pourrions représenter le processus sans l'hypothèse d'une *invariance* suffisante (*même si celle-ci est seulement locale, ou seulement momentanée,* P. Delattre) des processus et de leur connexion. Nous sommes ainsi acculés à une dialectique fondamentale. Il nous faut reconnaître conjointement le *flux processé* et le *champ processeur* dans notre modélisation du processus, de l'objet fonctionnant dans ses environnements temporels. *Et sans doute ne s'agit-il pas ici d'une simple possibilité qui pourrait, à notre gré, être ou non suivie. Il s'agit plutôt d'une nécessité imposée par la nature même des problèmes auxquels nous sommes confrontés* (P. Delattre, 1971, p. 177).

C'est cette dialectique que la théorie du Système Général prétend aujourd'hui affronter, non pas pour la résoudre en une nouvelle et éphémère synthèse, mais pour l'assumer en en proposant une

représentation communicable. Il lui faut pour cela accepter de sortir du cadre instantanéiste dans lequel nous avons pu reconnaître les premiers concepts qui la fondent et que nous avaient livrés les définitions ontologiques et génétiques de l'objet actif. Un nouveau regard est nécessaire. L'objet dont nous avions connu l'identité dans l'instant par ses activités finalisées doit maintenant être reconnu identifiable, et donc unique, dans la durée. *L'homme qui perd ses cheveux n'en reste pas moins un homme,* observe malicieusement R. Thom (1974, p. 130). Devrions-nous pourtant le modéliser différemment dès lors que s'est modifié le réseau des processeurs (la structure), par lequel nous l'avions initialement modélisé ?

La notion d'état du système

Un retour aux sources s'avère nécessaire : cet objet actif avait été modélisé de l'extérieur, à un instant donné. Ne pouvons-nous enrichir notre observation en substituant un appareil cinématographique à l'appareil photographique que nous avions initialement utilisé ? La caméra nous livre une séquence temporelle de nos observations (qu'elles soient factuelles, simulées ou anticipées). Nous connaissons alors l'objet par la *chronique* de ces observations instantanées des intrants et des extrants par lesquels le Système de Représentation avait convenu de repérer le comportement de l'objet. Pour le décrire, nous substituons dès lors à la boîte de mécano (cf. p. 75) l'attirail du réalisateur de dessins animés : la collection des processeurs élémentaires devient une collection des photos de l'objet actif, une collection des *états* possibles de son comportement.

Peu de concepts vont s'avérer aussi féconds et aussi ambigus pour la modélisation systémique des objets. Quelles que soient leurs origines disciplinaires, tous les chercheurs y feront appel dès qu'ils voudront décrire leur démarche modélisatrice. Rares pourtant seront ceux qui s'efforceront de définir avec quelque rigueur un concept d'apparence aussi banale, même lorsqu'ils établiront leur fondement théorique sur le concept dérivé d'*espace d'états :* je veux parler ici des automaticiens, dont nous allons par la suite solliciter intensément l'expérience et le concours. Avec une extrême loyauté, J.-C. Gille et M. Clique (1975, p. 27) conviendront : *Il ne nous paraît pas possible de donner, tant qu'on ne particularise pas, une définition* (de la notion d'état) *plus précise que la suivante : l'état d'un système à un instant donné est l'état où il se trouve à cet instant* (sic). L. Zadeh (1969, p. 22) soulignera, dans le même esprit : *Bien que la notion d'état ait une longue histoire dans bien des domaines, en particulier en dynamique analytique, en thermodynamique et en mécanique quantique, il est difficile d'en trouver une définition dans la littérature*

scientifique qui ne souffre pas d'insuffisance ou d'imprécision. Il proposera, en conséquence, de l'interpréter de façon précise et pourtant très générale comme une étiquette attachée à un sous-ensemble des paires d'intrant-extrant du système.

Cette définition expérimentale, formalisée par L. Zadeh, va s'avérer très féconde en permettant, en particulier, une généralisation bénéfique de la nouvelle démarche de modélisation que se donne ainsi l'automatique : une étiquette, caractérisant chaque paire d'intrant-extrant identifiable [1], autrement dit une photographie du comportement, réalisée de l'extérieur. La définition ne nous donne sans doute pas la règle de rédaction de l'étiquette : nous avons vu (chap. 3, p. 44) que le choix des libellés relevait de la difficile liberté du Système de Représentation. G. Weinberg (1975, p. 87) observera pourtant que l'on peut resserrer la définition en des termes opérationnels qui faciliteront peut-être le diagnostic du modélisateur et sûrement l'économie du développement qui va suivre ; avec probité (ou avec prudence), il attribue à un auteur inconnu la formule suivante : un état est une situation qui peut être reconnue si elle se manifeste à nouveau (précisons le « peut être » par un conditionnel : qui pourrait être reconnue si elle se manifestait à nouveau). Elle nous ramène à notre définition intuitive initiale : une photo prise à un instant donné du comportement de l'objet, vu de l'extérieur. Le réalisateur d'un dessin animé la recherchera à nouveau dans sa collection, s'il veut ultérieurement représenter la même image.

L'état défini par la relation S(t)

L'état à l'instant *t* de l'objet doit donc pouvoir être représenté par son comportement à cet instant, autrement dit, par le couple intrant-extrant correspondant. Si nous convenons de symboliser l'intrant et l'extrant à l'instant *t* par les deux vecteurs IN(*t*) et EX(*t*) qui énumèrent leurs composantes identifiées ou leurs caractéristiques, nous pourrons commodément décrire l'état à l'instant *t*, par une relation S(*t*) définie sur le produit cartésien IN(*t*) % EX(*t*). Notre collection de photos devient alors une collection de relations, définie sur les produits cartésiens IN(t_1) % EX(t_1), IN(t_2) % EX(t_2), etc.

Si nous sommes fondés à considérer que nos énumérations des caractéristiques des intrants et des extrants ne se modifient pas au fil du temps (autrement dit, si nous sommes satisfaits de notre représentation du processus), le domaine défini par le produit cartésien

---

1. Cf. un éclairage complémentaire de cette définition par la remarque de T. WINDEKNECHT, p. 75.

IN(t) % EX(t) pourra être considéré comme indépendant de t, et donc suffisamment invariant ; nous pourrons alors y repérer les unes par rapport aux autres les relations S(t) caractérisant chacun des états de l'objet modélisé dans le processus, à ses différents, moments. Si pour deux instants différents t_1 et t_2, notre représentation révèle deux relations S(t_1) et S(t_2) superposables, nous conviendrons alors que l'objet modélisé est dans le même état en t_1 et en t_2. Cette possibilité de reconnaître des occurrences tenues pour identiques d'un même état sa s'avérer précieuse pour guider notre démarche modélisatrice (cf. fig. 7.1). C'est elle que nous solliciterons pour identifier les invariances suffisantes sur lesquelles nous appuierons notre représentation temporaire de l'activité de l'objet.

Si, en effet, nous sommes fondés à représenter par *la même relation S(t)* une *séquence d'états successifs* IN(t_1) — EX(t_1), IN(t_2) — EX (t_2), IN(t_3) — EX(t_3) sur le même produit cartésien IN % EX, nous ferons alors l'hypothèse modélisatrice que tout se fiasse comme si l'objet était doté, dans l'intervalle de temps défini par cette séquence, d'une structure provisoirement invariante et modélisable : P. Delattre (1971, p. 49) proposera d'appeler *structure relationnelle* ce concept qu'il définit de façon assez différente. G. Klir (1969, p. 45) l'identifiera également dans sa définition de la *structure ST* (*State Transition*) du Système Général.

Symboliquement, la traduction de cette *structure provisoire S* se représentera aisément sur la matrice du produit cartésien IN % EX, par des correspondances, éventuellement formalisables par des fonctions, entre chaque $(\text{IN})_i$ et chaque $(\text{EX})_j$: cf. figure 7.1. Lorsque toutes ces *correspondances* seront formalisables mathématiquement par des fonctionnelles linéaires, nous retrouverons l'écriture matricielle familière d'un système de m équations à n variables, reliant les m composantes de EX(t) aux n composantes de IN(t). Nous disposerons alors d'un modèle de l'objet permettant par simulation une anticipation de ses comportements possibles, lorsque sera anticipée la chronique des intrants que lui imposera le processus dans lequel il intervient.

Si nos observations des états au fil de l'intervalle (t_0, t_k), pendant lequel nous pouvons tenir pour invariant le domaine IN % EX, nous permettent de construire une table des correspondances (t, IN(t), EX(t)), autrement dit, si les composantes identifiées de IN(t) et de EX(t) sont évaluables à l'aide de quelques métriques, nous pourrons tester l'hypothèse d'une correspondance de type statistique entre ces composantes. La méthode familière des *corrélations multiples* illustre à la perfection cette procédure de modélisation de la structure S et

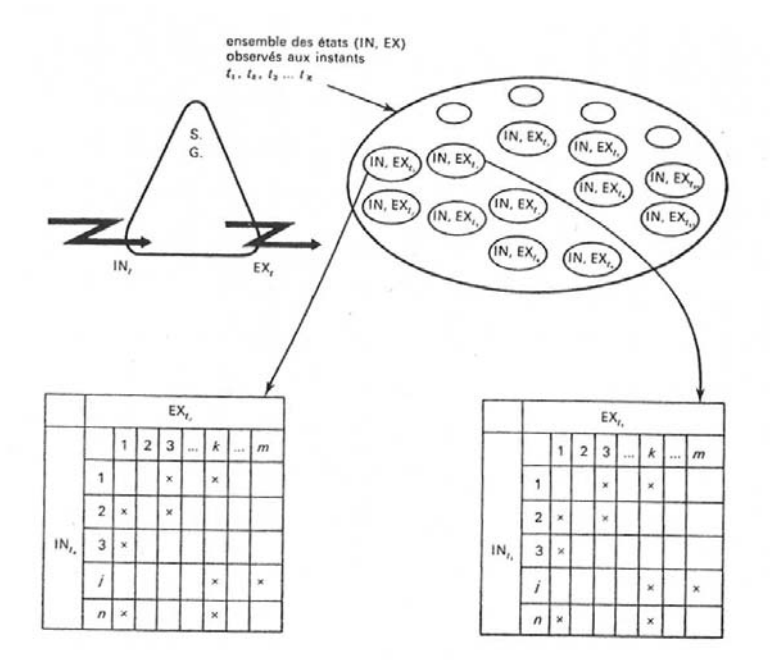


FIG. 7.1. — *L'état du Système Général aux instants t = t_1, t_2, t_3…*
sur le schéma, les « correspondances » entre INTRANTS et EXTRANTS aux instants t_1 et t_3 étant superposables on déclare que le Système Général est dans le même « état » à t = t_1 et à t = t_3

l'universalité de ses applications pratiques confirme sa fécondité. Le modèle (structure) de l'objet n'a peut-être aucune correspondance avec sa réalité physiologique ou morphologique, mais il s'avère suffisamment représentatif de sa réalité comportementale (ou fonctionnelle), pour autoriser son interprétation par simulation. L'action sur l'environnement de l'objet sera ainsi singulièrement éclairée quant à ses conséquences prévisibles [1].

1. Une des illustrations les plus spectaculaires de ce type de systémographie est celle de la « comptabilité variationnelle » développée par R. Trémolières et ses assistants à l'Université de D.E.S. d'Aix-Marseille. Le vaste domaine d'activité recouvert par l'établissement des devis et la gestion des projets industriels est ainsi très fructueusement modélisé.

2. L'état ? : par quel programme ?

Le programme : un calendrier des transitions entre états

Le cas heureux (pour le modélisateur) où l'objet reste dans le même état comportemental pendant une certaine durée est sans doute habituellement éphémère. Il nous suffit pourtant à concevoir, et donc à représenter, le comportement de l'objet par une chronique des *transitions entre* des états provisoirement permanents (on dira, par la suite : *état stable,* ce qui, étymologiquement, est un pléonasme).

Le concept *d'espace d'état* permet commodément de rendre compte de cette chronique. Cet espace constitué de l'ensemble des relations IN (*t*) — EX (*t*) possibles sur IN % EX rassemble tous les états différents possibles *S*(*t*) du comportement de l'objet. Sa représentation dans le temps (on dira : dans un *calendrier*) s'obtiendra par la définition d'une *trajectoire* (ou d'un *programme*) dans cet espace d'état. Une telle représentation est si générale que les physiciens et les mathématiciens sont souvent tentés de centrer leurs formulations sur ce concept, *en faisant apparaître la notion de système* comme *une notion dérivée* (N. Boccara, 1968, p. 5). Ils butent pourtant, parfois à leur insu, sur les difficultés de cette approche (qui conduit, rappelle N. Boccara, à supposer toujours *implicitement que le* système est isolé, p. 6). *La théorie moderne des systèmes a été développée presque exclusivement à partir de ce qu'il est convenu d'appeler « l'approche par l'espace d'état ». Le problème que nous rencontrons ici est lié au fait que cette approche n'est pas aisée à expliquer ou à défendre en quelques mots, pas plus qu'il n'est facile d'expliquer la relation entre le point de vue de l'espace d'état et la notion de relation intrant-extrant paramétrée en fonction du temps.* T. Windeknecht (1971, p. 149), qui souligne justement cette difficulté (que nous tentons d'épargner au lecteur, mais qu'il rencontrera fréquemment dès qu'il sollicitera la contribution des ingénieurs-mathématiciens pour enrichir ses propres capacités en systémographie), propose de la résoudre en partant de la conception de l'*état* que nous avons retenue, autrement dit par une *paramétrisation* de la correspondance temporelle *entre les intrants et les extrants* d'un Système Général (afin de pouvoir maintenir jusqu'au bout une formalisation mathématique du modèle, il devra restreindre sa définition au cas des relations causales intrant-extrant d'un processeur, ce qui ne nous permettra pas de tirer aisément parti de ses conclusions, lorsque nous voudrons les mettre en œuvre pour

systémographier des objets quelconques, en nous libérant de l'hypothèque du causalisme).

**Le programme :
une trajectoire paramétrée**

L'image de la trajectoire de la structure *S* se déformant par sauts entre des étapes stables successives au fil du temps au sein de l'espace d'état (autrement dit, dans notre formulation, au sein de l'ensemble des processus temporels qui affectent l'objet modélisé), s'avère pourtant féconde. Elle rend compte de la réalité que nous voulons exprimer : celle de l'objet fonctionnant dans le temps, tout en suggérant la démarche modélisatrice que nous recherchons.

Les sauts dans la trajectoire se représentent par des paramètres ; autrement dit, le déplacement de l'objet sur sa trajectoire peut se *paramétrer.* Et cette paramétrisation est relativement aisée à identifier, puisqu'elle doit affecter la structure S de l'objet. Notre repérage d'un état stable, et donc d'une structure $S(t)$, devra donc sélectionner les *points de paramétrage*, nous dirons bientôt : les *points de commande*, ou encore les correspondances $\mathrm{IN}_i(t)$ — $\mathrm{EX}_j(t)$, susceptibles d'être modifiées ; en pratique, il s'agira d'une *connexion* à supprimer, à établir ou à modifier entre une composante instantanée de $\mathrm{IN}(t)$ et une composante de $\mathrm{EX}(t)$, ou d'un *réglage* (quantitatif) affectant la valeur de telle de ces composantes, à l'admission ou à la réception (symboliquement : une modification de l'ouverture d'une *vanne*).

Dès lors, si nous connaissons l'état initial $S\,(t_0)$ du système représentant l'objet, et si nous disposons d'un calendrier détaillant les valeurs à donner, étape après étape, à tous les paramètres de structure que nous aurons identifiés sur S, autrement dit, si nous disposons du programme de l'objet, nous pourrons décrire l'état du système à un moment t_1 postérieur à *t.*

À la collection ordonnée et encombrante des photographies des états successifs, nous pouvons substituer une photo initiale et un calendrier précisant la séquence des valeurs à donner aux divers paramètres que nous avons repérés sur S (en terme de dessin animé : la séquence des angles à donner à la tête et aux bras, par rapport au corps, en considérant que la *forme* de la tête et des bras (par exemple) reste, elle, dans le *même état*). Le programme du travail du réalisateur se définit ainsi et dès qu'on saura le formuler avec précision on s'empressera souvent de l'exprimer sous la forme d'un *programme* informatique : les images successives qui accompagnent notre définition du programme révèlent une convergence qui illustre bien ce concept essentiel. J. Mélèse (1972, p. 89) proposera très heureusement

d'appeler P. Graphe les représentations graphiques du programme d'un système (si malheureusement appelées organigramme ou ordinogramme par les informaticiens de langue française). Ce qui l'autorisera à présenter en dualité le concept de O. Graphe par lequel se représentera la structure organique : cf. chap. 8, p. 179.

Le programme : une équation d'état

C'est sur cette représentation de l'objet que se fonde l'automatique... lorsqu'elle se définit comme la science de la commande (ou de la paramétrisation) des processus physiques représentés par des signaux (cf. p. ex. R. Boudarel *et al.,* 1967, p. 5). Sa puissance modélisatrice, dont tant d'exploits technologiques témoignent, fascine à juste titre les modélisateurs concernés par d'autres types de processus (et, en particulier, par les phénomènes biologiques, cognitifs et sociaux). Elle ne leur est pas pourtant toujours aisément accessible, pour deux ordres de raisons qu'il est utile de souligner, pour faciliter les interprétations ultérieures :

— Elle nécessite en effet le détour relativement peu familier que nous venons de parcourir pour conceptualiser la représentation de l'objet dans le temps, par la structure paramétrable $S(t)$ que nous venons d'identifier. Ce détour nécessite un retour ultérieur à la notion de *structure totale* (cf. les chap. 8 et 9) *pour laquelle la nature des éléments conserve toute son importance* (cf. P. Delattre, 1971, p. 49) ; tant que ce retour n'est pas achevé, le modélisateur n'est pas sûr de son terrain et manifeste une prudence, parfois exagérée, dans la communication interdisciplinaire.

— Elle nécessite par ailleurs l'identification d'une contrainte de modélisation que s'impose l'automaticien plus attentif à la modélisation de la *commande* du processus qu'à celle du *processus* lui-même (cf. J. Richalet, 1971, p. 2) ; pour lui, l'intrant du système représentant l'objet est, d'abord, la commande (représentée également par un vecteur) qui, émise par un système de commande, viendra affecter le comportement (pour lui : l'extrant) du processus. Ce qui le conduit à une définition plus extensive que celle que nous avons retenue de l'extrant : tout ce qui sort *et* entre dans le système, à l'exception de la commande (et, éventuellement, de ces intruses de la modélisation que l'on qualifie péjorativement de *perturbations*). Pour qu'il n'y ait pas d'ambiguïté, R. Boudarel (1967, p. 9) précise très clairement : *Il est à noter que le terme entrées est très largement employé* (sic) : *il peut représenter suivant les cas une commande, une*

perturbation ou une consigne. En général il n'y a pas de confusion possible. Le flux entrant n'est donc pas, dans cette formulation, représenté comme un intrant mais comme un extrant (ce qui, intuitivement, s'interprète facilement, le Système de Représentation ayant convenu de privilégier de façon absolue la commande). Les plus récents développements de l'automatique, reprenant les travaux de M. Mesarovic (1970) sur la coordination dans les systèmes à niveaux multiples, conduisent cependant à lever cette restriction et à modéliser en intrant les flux effectivement entrant (cf. l'excellente présentation qu'en donne A. Titli, 1975, p. 9).

Cette différenciation explicite de la commande implique une hypothèse forte sur les frontières de l'objet modélisé dans son environnement tapissé de processus : elle conduit, en effet, à admettre qu'il existe, à l'extérieur de l'objet, un ou des processus décisionnels qui interviennent sur son comportement, ou à convenir que l'on privilégie, dans la modélisation de l'objet, l'examen du comportement du sous-système opérant.

La représentation est alors partiellement internalisée. En pratique, cette hypothèse n'est pas très contraignante, dès lors qu'elle est clairement identifiée et que l'on s'y réfère pour mettre en œuvre les concepts de la modélisation systémique (on l'oublie souvent pourtant, ce qui engendre un choc des langages des plus préjudiciables !). La reconnaissance du Système Général de niveau 5 (cf. chap. 6, p. 102) fournit un référentiel au Système de Représentation commode pour agencer ses examens.

Ces deux précisions étaient nécessaires pour introduire un des concepts les plus riches forgé par l'automatique : même s'il n'est pas généralisable sous sa forme actuelle, il suggère par analogie un mode de représentation de l'objet fonctionnant dans le temps, qui guidera souvent la démarche du modélisateur investigant par simulation : la représentation du système par son *équation d'état*, qui exprimera la *trajectoire* (ou le programme) du système dans *l'espace d'état* que nous avons défini précédemment (cf. p. 121).

Elle exprime la règle du jeu que nous proposions au réalisateur du dessin animé : l'état du système à l'instant t, $S(t)$, doit pouvoir s'établir par la connaissance de son état à l'instant antérieur t_0, $S(t_0)$ et par celle du calendrier t_0, t des vecteurs de commandes (ou vecteurs des paramètres de changement d'état), $u(t_0, t)$:

$$S(t) = E(S(t_0), u(t_0, t), t).$$

L'équation d'état, mémoire du système

Cette forme générale de l'*équation d'état* séduit naturellement le modélisateur qui rêve de parvenir à l'exprimer sous une forme aussi manipulable que possible. S'il parvient, en particulier, à la traduire par une forme mathématique lui permettant de dériver $S(t)$ par rapport au temps, il disposera d'un outil exceptionnel pour anticiper l'état prochain de l'objet, à partir de la seule connaissance de ses états antérieurs (de façon plus précise : de la connaissance d'un état initial et de la chronique des décisions (ou commandes) qui sont intervenues au fil du temps, en affectant les états $S(t)$ successifs de l'objet). Ce que les automaticiens expriment de façon imagée (et généralisable) : *la mémoire minimale du passé nécessaire à la détermination du futur* (A. Fossard, 1972, p. 3), ou, plus précisément, *nécessaire pour pouvoir prédire le comportement futur d'un système* (R. Boudarel *et al.*, 1967, p. 4.).

Dès lors, en inversant la proposition., nous pourrons envisager de mettre en mémoire du système l'équation d'état ou encore le programme que nous lui proposons, ce qui permettra alors au modélisateur-concepteur d'anticiper la connaissance de l'état du système, au fil de son déplacement dans son calendrier programmé.

Nous ne disposerons sans doute pas toujours de lois physiques autorisant la reconnaissance par des êtres mathématiques de cette équation d'état. Mais l'expérience de l'automatique s'avérera ici aussi utile : nous pourrons au moins tester quelques hypothèses, imaginer quelques programmes. Tout l'appareil du calcul différentiel et du calcul matriciel sera alors à notre disposition pour les interpréter fructueusement. Les traités d'automatique que l'on a mentionnés au passage guideront fort bien le lecteur dans ces investigations.

Le concept d'*équation d'état, mémoire du programme du système général* s'avérera, en outre, très fructueux lorsque nous procéderons à des systémographies de conception : elle suggérera une mise en forme de la mémoire du système conceptuellement simple et manipulable. Nous aurons l'occasion de développer ce point de vue au chapitre 8, en introduisant le concept d'organisation, et au chapitre 9, en introduisant le concept de stabilité structurelle du Système Général (et, en particulier, les *processus ergodiques*).

3. L'état : une structure relationnelle « S »

États maintenables, observables, gouvernables

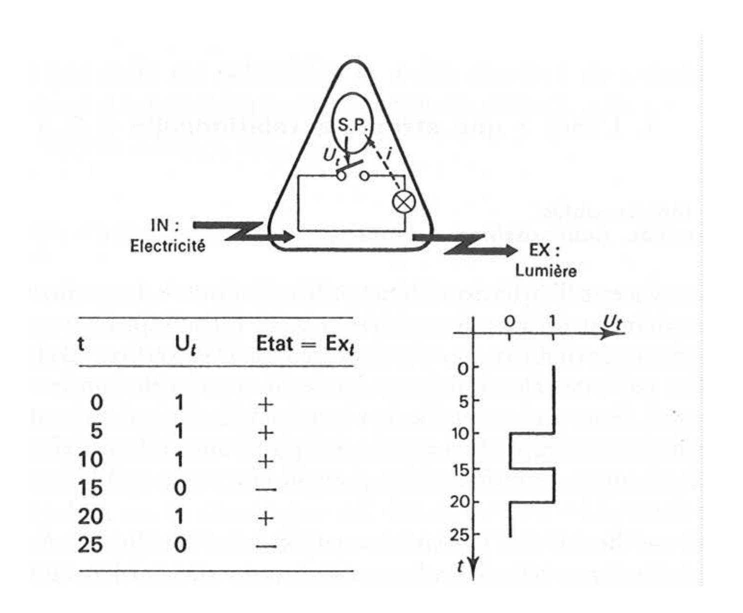
Ce concept d'équation d'état permet en outre de rendre compte commodément du cas des *systèmes régulés* (cf. chap. 6, p. 100) que l'automatique définira par un *état maintenable du système :* il se définit, en effet, par une sélection des valeurs du vecteur de commande *u* (*t*) telles que, dans un intervalle de temps, *dS/dt* soit nul : situation que l'on observera chaque fois que le comportement observé du système reste inchangé, autrement dit, que son état reste stable entre deux transitions.

Le cas limite du *système automaintenable* est celui où *S* (*t*) reste constant lorsque *u* (*t*) est nul : son état reste stable bien qu'on ne le commande pas !... La statistique devient ainsi un cas particulier de la théorie du système (ce qui, convenons-en, risquerait de nous faire utiliser un outil bien sophistiqué pour modéliser une pierre reposant sur le sol, mais qui nous permettra aussi de rendre compte aisément de bien des passages à la limite : le cas où la pierre, ayant atteint le sol, y demeure !).

Par symétrie, un système sera dit *gouvernable* (plutôt que contrôlable : terme dont A. Fossard, 1972, p. 5, fait légitimement le procès), lorsqu'on pourra trouver un vecteur de commande *u* (*t*) qui fasse passer l'état de ce système de $S(t_0)$ *à* $S(t_1)$ différent de $S(t_0)$ et *observable* lorsqu'on pourra identifier un état initial $S(t_0)$ à partir de la connaissance de *S* (*t*) et de *u* (*t*).

Un exemple familier

On peut résumer cet examen de la modélisation de l'objet fonctionnant dans le temps par un exemple simple que l'on emprunte à G. Klir (1960, p. 49), qui image de façon familière les quelques concepts que l'on vient de recenser (cf. fig. 7.2) : celui de la représentation d'un dispositif d'éclairage. L'intrant *IN* (*t*) est constitué, d'une part, par un *flux* d'énergie issu de l'environnement (*via* un processeur source : une centrale électrique et un processeur de type T : un câble électrique) et, d'autre part, par un vecteur de commande *U* (*t*) qui peut agir sur un paramètre désigné interrupteur. L'extrant est un *flux* d'énergie lumineuse rayonné par le système.



t	U_t	Etat = Ex_t
0	1	+
5	1	+
10	1	+
15	0	—
20	1	+
25	0	—

FIG. 7. 2. — *Les deux représentations du programme de l'objet « dispositif d'éclairage » par la table de correspondance et par la trajectoire dans l'espace d'état (cf., dans le texte, une troisième représentation par l'équation d'état)*

Nous pouvons représenter la trajectoire de ce système dans l'espace d'état, par un calendrier particulièrement simple, en acceptant de caractériser simplement les intrants et les extrants porteurs d'énergie (par exemple, un courant constant sous 110 V pour l'intrant et EX = 0 ou 1, éclaire ou n'éclaire pas, pour l'extrant) et l'intrant de commande (fermé ou ouvert) par les seules valeurs IN.C = 0 et 1 qu'il est susceptible de prendre.

Entre t_0 = 10 et t_1 = 15, le comportement du système reste dans un état stable, puis, à nouveau, entre t_1 = 15 et t_2 = 20, puis à nouveau entre t_2 = 20 et t_3 = 25. Ce comportement change (il y a transition) pour t = 15 , 20 et 25. L'équation d'état sera donnée, par exemple, par EX(t) = INC(t) avec INC(t) = 0 dans les intervalles 10-15 et 20-25, et INC(t) = 1 dans l'intervalle 15-20. Ce système est gouvernable et observable.

Des structures *S* à la structure totale

La représentation de l'objet fonctionnant dans le temps, par une équation d'état, conduit à sélectionner un choix sur le *niveau* du Système Général considéré : lorsqu'il est *gouverné,* le système correspondant doit pouvoir être décrit par un modèle qui soit au moins de niveau 3 et, si on le suppose *gouvernable,* au moins de niveau 5 (cf. chap. 4, p. 133). Le systémicien doit ici reprendre à son compte, en l'explicitant, une hypothèse implicite de l'automaticien (cf. p. 160) : à tout instant sur sa trajectoire, la structure *interne* de l'objet est en permanence différenciable en deux processeurs au moins : un *processeur opérant* et un *processeur décisionnel* (ou de *pilotage ou* de *commande),* pouvant être interconnectés par un *processus informationnel.* C'est en ce sens que P. Delattre pourra conclure que *la structure relationnelle complète* (l'ensemble des structures de type *S* énumérées par l'équation d'état) *est équivalente à la structure totale, la seconde contenant implicitement tout ce que contient explicitement la première, mais celle-ci correspondant à une limite dont on ne peut pas dire qu'elle est effectivement accessible en pratique* (1971, p. 88).

Parce que nous buterons souvent sur cette limite pratique, dans nos modélisations de la structure totale de l'objet, nous pourrons l'enrichir par la considération du programme de l'objet (du calendrier de ses structures *S*). Ce détour nous épargnera, en outre, les inconvénients certains de l'*aspect statique de la notion de structure* (P. Delattre, 1971, p. 48).

Le prochain chapitre devrait mettre en valeur cet enrichissement dans notre interprétation ontologique de la structure de l'objet fonctionnant dans le temps.

*
* *

▶ Relecture

La *correspondance* entre une modification programmable du comportement *externe* d'un système dans son environnement et une modification paramétrable de son état par changement de la configuration *interne* des interrelations constitue l'hypothèse sous-jacente de cette représentation d'un système par ses trajectoires dans

son espace d'état ; correspondance qui n'implique pas nécessairement causalité (sinon pour les concepteurs de systèmes automates), mais qui s'avère parfois délicate à conceptualiser : on identifie — et on catégorise habituellement — les comportements d'un système, comportements que l'on a ici proposé de reconnaître par les *états* des couples de vecteurs Intrant-Extrant à une période (ou un instant) donné.

La représentation de ces chroniques de comportements successifs du système perçu en *boîte noire* incite certes à inférer quelques mécanismes internes *réguliers et stables...* Mais cette correspondance entre un comportement et une configuration est, et doit être, hypothétique : elle suggère au modélisateur un guide de repérage, celui de la simulation d'un vecteur de commande, *U,* qui paramétrerait diverses modifications *a priori* inconnues, mais régulières et finalisables, du réseau interne des interrelations entre les processeurs représentant le système ; sans que ces derniers soient identifiés ou dénombrés, on postule un modèle de « l'intérieur » sans ouvrir la boîte noire, et sans chercher à l'ouvrir *a priori,* afin d'aboutir à des propositions du type : *tout se passe comme si.* Cette interprétation fonctionnelle et programmatique, par *conception d'un modèle possible* et non plus par *dissection,* s'avère bien souvent à la fois efficace et praticable : pourquoi le modélisateur se l'interdirait-il ? On se souvient pourtant que Jacques Monod (1970, p. 93) prétendait ne pas même pouvoir concevoir une telle représentation : *Peut-on seulement concevoir qu'un ingénieur martien voulant interpréter le fonctionnement d'une calculatrice terrienne puisse parvenir à un résultat quelconque s'il se refusait, par principe, à disséquer les composants électroniques de base qui effectuent les opérations de l'algèbre propositionnelle ?* La modélisation d'un système par la description des chroniques de ses comportements (sa trajectoire dans son espace d'état) suggère précisément de relever ce défi : oui, on peut concevoir que pour interpréter le fonctionnement d'un objet que l'on représente par un système, ou en construise des *modèles fonctionnels* qui ne doivent rien à la dissection de tel composant électronique ou de tel organe ! Non seulement on le peut, mais peut-être le doit-on, si l'on souhaite établir une représentation durablement *intelligible : l'exemple* de la calculatrice terrienne de Jacques Monod est d'ailleurs révélateur : lorsqu'il écrivait *Le hasard et la nécessité* en 1968-1970, l'électronique qu'il disséquait était sans doute à base de transistors ; dix ans plus tard, la même calculatrice terrienne assurant les mêmes fonctions (les opérations de l'algèbre propositionnelle) sera à base de microprocesseurs ultra-intégrés : la comparaison des deux dissections révélerait des objets absolument différents, alors que la représentation de leur fonctionnement conduit sans difficulté à l'hypothèse de leur unité : ces deux « boîtes noires » sont des calculatrices terriennes ayant des comportements téléonomiques très comparables : pour le martien de Jacques Monod, cette interprétation n'est-elle pas

beaucoup plus *utile*, et correcte, que celle que lui auraient suggérée les deux dissections ?

Autrement dit, nous ne disposons pas que du bistouri pour modéliser un système : il n'est pas nécessaire de disséquer son *matériel* (*hardware*) pour comprendre son *logiciel* (*software*), et l'interprétation par le logiciel (les « programmes ») est au moins aussi pertinente que l'interprétation par le matériel (les « structures »). Pourquoi se l'interdirait-on *par principe ?*

CHAPITRE 8

		A	S	E
3	**F**	4	7	10
2	**O**	5	**8**	11
1	**G**	6	9	12

L'organisation du système général :

la mémoire de l'objet

1. Organisation égale structure plus programmes mémorisés

L'organisation, propriété du Système Général

L'image de la structure de l'objet fonctionnant dans le temps que nous livre la relation matricielle instantanée des intrants et des extrants (la structure *S*) qui définit son comportement à chaque instant conduit le modélisateur à une représentation qui ne le satisfait que partiellement. Elle ignore trop délibérément la description de l'objet visible de l'intérieur, celle que lui donnerait une *radiographie* (interne), qui compléterait si utilement la *photographie* (externe) dont il dispose. Cette insatisfaction s'aggrave lorsqu'il a quelques raisons de présumer que la diversité des photographies instantanées dissimule peut-être une permanence des radiographies réalisées aux mêmes instants. Le passage de la structure relationnelle à la structure totale, pour reprendre la formulation de P. Delattre (1971), lui importe au premier chef s'il veut tirer parti de son entreprise initiale de modélisation du calendrier des structures *S*.

Il lui faut pour cela faire l'hypothèse que l'objet est doté d'une *propriété spécifique qui engendre ses comportements successifs*, s'il se refuse de tenir leur chronique pour totalement aléatoire : G. Klir (1969, p. 43) en proposant d'appeler *organisation du Système Général* cette propriété, apportera une clarification précieuse qu'avaient pressentie R. Fortet et H. de Boulanger (1967, p. 35) au terme de leurs investigations : *nous n'avons pas trouvé, dans nos lectures, d'études*

approfondies du concept d'organisation et nous n'avons pas nous-mêmes réussi à en donner une définition qui englobe tous les cas qui sembleraient devoir être englobés... Nous pensons que l'organisation doit être considérée comme une propriété d'un système. L'examen de cette propriété s'avère d'autant plus souhaitable que la synonymie apparente entre les concepts d'organisation et de structure handicapera bien souvent la systémographie des objets sociaux en particulier : l'anthropologue A. Radcliff-Brown (1952-1968, p. 68) le soulignait déjà : *la notion d'organisation est évidemment étroitement liée à celle de structure sociale, mais il est préférable de ne pas la considérer comme son synonyme. On pourrait définir la structure sociale comme un arrangement de personnes dans un système institutionnel de relations déterminées, et réserver le terme d'organisation pour définir un arrangement d'activités.* Ainsi, dans une comédie, l'*arrangement* spatial des acteurs se différencie-t-il de l'arrangement temporel des *rôles*.

La conjonction structure-programme

Au prix modique de quelques nuances dans la formulation, nous retiendrons la caractérisation de cette propriété d'organisation proposée par G. Klir (1969, p. 44) : *Puisque nous convenons que le comportement d'un système peut changer, nous devons admettre que son organisation puisse aussi changer. Il s'avérera alors commode de définir une part constante et une part changeante (ou variable) dans l'organisation du système. Désignons par « structure » la part constante et par « programme » sa part variable.* Cette conjonction structure-programme va permettre de caractériser de façon suffisamment spécifique le concept d'organisation, lequel, en retour, nous fournira le support de la synthèse que recherchait le modélisateur entre ses deux interprétations de l'objet : son examen *cinématique* qui rendait compte de son fonctionnement dans le temps par l'identification de son programme (cf. chap. 7), et son examen *organique qui* représentait sa structure par un réseau d'interrelation entre des processeurs élémentaires (cf. chap. 5). Elle doit nous permettre de résoudre la difficulté sous-jacente de l'analyse structurale telle que nous avions pu la définir par la construction de la matrice structurelle du système (cf. chap. 5, p. 86), difficulté que soulignent très justement J.-C. Duperrin et M. Godet (1974, p. 516) et que révèle la nécessaire prise en compte du concept d'état : *une véritable analyse de système devrait comprendre autant d'analyses structurales qu'il y a d'états possibles pour le système. En effet, une matrice structurelle ne représente qu'un « arrêt sur l'image » du film de l'évolution continue du système.* Dès lors que le Système de Représentation convenait de l'identité et de la permanence de l'objet, il ne pouvait plus, sous le prétexte *que ce même objet puisse avoir beaucoup d'état, le représenter par autant de systèmes différents !* (F. Berrien, 1968, p. 24).

Mémoire et organisation sont indissociables

La combinaison de la représentation *organique* et de la représentation cinématique doit nous permettre de passer à une représentation *physiologique* générale de l'objet (laquelle devra, à son tour, couplée à une représentation dynamique ou *génétique,* nous conduire à une représentation *morphologique* (cf. chap. 11)). Ce passage nécessite l'appel à un concept central que nous avons déjà nécessairement introduit : celui de *mémoire* du Système Général : *la mémoire est indissociable des processus d'organisation.* L'affirmation du psychologue C. Florès (1972, p. 23, développant dans leurs antagonismes et leurs convergences la Théorie de la Psychologie de la Forme — *Gestalt* — et de celle de J. Piaget) se généralise spontanément. La conjonction structure-programme par l'organisation rend nécessaire l'identification de ce *coupleur* : il nous faut concevoir un *processeur de mémorisation* (ce terme plus général évitera les connotations peut-être trop spécifiques du terme « mémoire » au sens de la psychologie cognitive) dans le réseau qui décrit la structure du système. Il nous faut même faire l'hypothèse supplémentaire d'une *permanence exceptionnelle* de ce seul processeur : quelles que soient les *transformations* qu'exerce et que subisse l'objet, pour qu'il demeure ce même objet il faut qu'il assure l'invariance fonctionnelle de son processeur de mémorisation.

Le modèle de l'objet, quelles que soient ses propriétés, observables ou non, anticipables ou non, se construit alors autour de cet unique invariant auquel sera confiée toute description accessible du (ou des) programme(s) que le modélisateur a par ailleurs attribué à l'objet fonctionnant. L'organisation se représente alors par une structure centrée sur un processeur de mémorisation, lequel garde les *traces* des programmes. La donnée d'une organisation, autrement dit la caractérisation d'un système par sa propriété principale, va s'avérer au cœur de la systémographie : dans les termes où nous l'avons définie, l'*organisation* devient le concept central de la théorie du Système Général, celui à partir duquel pourront se déployer tous les autres. Son apparente simplicité ne doit pas dissimuler la complexité du concept de mémoire qui le sous-tend, tout en nous éclairant sur le pouvoir organisateur de la théorie, significatif de l'intérêt qu'elle provoque aujourd'hui.

La mémoire, propriété du Système Général

Présentée dans ces termes, la notion de mémoire d'un système est en effet relativement nouvelle : A. Wilden (1972, p. 374) le souligne judicieusement : *Le critère de mémoire est celui qui distingue*

les systèmes de ces boucles mécaniques fermées qu'Ashby appela si malencontreusement des homéostats. La machine d'Ashby ne vise qu'à la recherche aléatoire de la stabilité. Elle n'a pas de mémoire, et ne peut pas apprendre. Elle est, par essence, un système fermé, puisqu'elle est fermée à l'information et à la commande. Propos qui se comprend mieux pour qui se souvient de la déclaration de R. W. Ashby affirmant en 1956 (p. 116) que la *possession d'une « mémoire » n'est pas une propriété globale objective d'un système.* Prise à la lettre — et elle le fut souvent — cette déclaration d'un des pères fondateurs de la cybernétique, et donc de la systémique, a contribué à retarder la prise de conscience de l'enjeu. Il faut, au contraire, pour systémographier l'objet organisé, doter son modèle d'une mémoire explicite (sinon objective !).

Telle est du moins l'hypothèse modélisatrice de base que nous sommes fondés à retenir. On interprète d'ailleurs mieux la réserve d'Ashby en remarquant que celui-ci se cantonnait dans un causalisme déterministe qui l'acculait à ne modéliser les objets que par des systèmes fermés. *Ainsi,* précisait-il (1956, p. 116), *évoquer la mémoire d'un système comme une explication de son comportement équivaut à déclarer que l'on ne peut observer le système complètement.* Déclaration d'humilité qu'aujourd'hui nous ferons en général lucidement, sans pour autant prétendre que la mémoire *explique* le comportement : elle autorise son *interprétation.* La nuance est décisive, on l'a déjà souligné (cf. chap. 1, p. 19).

La mémorisation de la bande-programme

L'image la plus familière de ce processeur de mémorisation portant le ou les programmes du Système Général est celle de la *bande-programme.* R. Thom (1974, p. 138) la met en évidence par l'exemple suivant : *Considérons une machine telle qu'une machine à laver mue par l'électricité. Là, l'espace parcouru par le site actif de la machine comporte des discontinuités quantitatives... et même qualitatives (trempage, lavage, rinçage...) impliquant des changements. Ces changements sont assurés en temps voulu par le déroulement d'une bande programme, elle-même mue par la machine.* Il généralisera la formule en parlant d'*organes programmes* présents *en grand nombre dans une machine. La non-unicité du programme est la règle générale* (p. 139), et suggérera ainsi tacitement la nécessité de quelque *stockage* de ces bandes-programmes (sans sa bandothèque de programmes, par exemple, un ordinateur ne peut être décrit comme

une organisation — c'est une structure statique que la systémographie ne modélisera que par passage à la limite avec mémoire vide !) [1].

Faut-il souligner en achevant cette discussion que le concept de programme mémorisé est attaché au Système Général et donc aux modèles qui lui sont isomorphes. Il ne nous contraint pas à imposer *a priori* son existence à l'objet réel, même s'il nous facilite sa représentation. R. Thom le rappelle à juste titre (1974, p. 138) : *On se demandera en particulier s'il est* a priori *nécessaire que la machinerie biologique possède un organe programme, rôle classiquement attribué au génome par les biologistes.*

2. L'organisation du système de pilotage

Organisation et communication d'informations

L'hypothèse d'une mémoire programmée implique un type de représentation du Système Général qui soit au moins de niveau 4 (cf. chap. 6, p. 132). La modélisation d'une mémoire implique la différenciation d'un flux d'informations spécifiques dans le système, informations qui porteront en particulier les bandes représentant les programmes. L'identification de l'organisation d'un système entraîne ainsi celle d'une *communication* d'informations : d'un réseau de communication. Il y a *communication quand il y a organisation* et réciproquement. La remarque est triviale dès lors que nous avons convenu qu'il *n'existait pas de communication sans mémoire* (cf. chap. 6, p. 138) et que *l'organisation se construisait autour d'une mémoire.* Que de tracas pourtant résulteront dans l'action de cette réduction de l'organisation à la seule formalisation d'un réseau de communication !

La modélisation de *l'organisation* de l'objet devient ainsi celle de sa *structure totale* que nous empruntions à P. Delattre (qui rappelle que c'est cette interprétation extensive que nous utilisons *dans l'étude des relations structures fonction* (*in* 1971, p. 49)). Ce dernier, interprétant une expérience de physicien, n'avait pourtant pas identifié le concept de mémoire du système et avait en conséquence ignoré celui d'organisation. Ce qui ne nous permettra pas, là encore, de tirer

---

1. H. Atlan proposera de parler alors de programme trivial (expression que J.-P. Dupuy généralisera à celle d'« homme trivialisé ») : l'unique programme, câblé en quelque sorte dans la structure du système. La plupart des automates mécaniques — à commencer par le célèbre régulateur à boule — sont de ce type à programme trivial (cf. LICHNEROVICZ *et al.*, 1976, p. 121) ([a]).

parti autant qu'on l'aurait souhaité de sa remarquable contribution à la théorie du Système Général (cf. en outre, la remarque présentée au chap. 6, p. 137).

Retour sur l'identification des processeurs

La caractérisation de cette propriété centrale d'organisation du Système Général nous permet de mieux préciser le concept de *réseau de processeurs* sur lequel nous avions initialement basé notre définition de la structure d'un système (cf. chap. 5), et conjointement, les critères de *séparabilité* que nous avions pu recenser pour établir des descriptions suffisamment stables de ce réseau (cf. chap. 6). Le caractère désormais central du (ou des) processeurs) de mémorisation implique que soit explicitée la nature de ses connexions avec les autres processeurs constitutifs du système général. Puisque la mémoire ne processe que des informations, la génération de ses intrants à partir des processeurs opérants et des processeurs décisionnels doit être identifiée.

La démarche est aisée dans le cas des processeurs décisionnels ceux-ci ne génèrent que des informations-décisions, par définition. Elle est moins naturelle dans le cas des processeurs opérants : ceux-ci sont caractérisés par la nature des objets qu'ils processent, matière, énergie ou/et informations-symboles. La représentation interne de chacune des transactions élémentaires (en intrant ou en extrant) par une information-représentation nécessite l'intervention d'un processeur élémentaire d'un type très particulier que J. G. Miller propose d'appeler un *transducteur* (sous-système qui processe la transformation d'un événement (ou d'une *différence*) en un *signal*), vocable que l'automatique semble utiliser conjointement avec celui de *capteur* (on parlera aussi d'un *encodeur* par symétrie avec le processeur réciproque qui transforme un signal en événement : le *décodeur*).

Le fonctionnement des transducteurs implique une fourniture spécifique d'énergie, fourniture qu'il sera souvent judicieux de différencier au sein des processeurs opérants. P. K. M'Pherson (1974, p. 219) propose de distinguer un *processeur de maintenance (ou processeur logistique)* auquel le modélisateur pourra souvent commodément confier, en le généralisant, l'ensemble des processus de maintenance interne des processeurs eux-mêmes : ce concept sera souvent utilisé pour représenter en pratique le processement des variables de structures au sein du Système Général (cf. chap. 9, p. 207).

La considération des processeurs de mémorisation au sein du sous-système informationnel du Système Général conduit par ailleurs à reconsidérer l'importance des phénomènes de stockage dans la

modélisation du sous-système opérant. Sa simplicité conceptuelle conduit souvent le modélisateur à les négliger en les englobant trop rapidement dans un processus de type F plus largement défini. On pourrait pourtant montrer qu'une des raisons de la fécondité du schéma de modélisation de Forrester (cf. chap. 5, p. 92) tient à la contrainte logique qu'il s'impose tacitement : dans le réseau, tout processeur de type F ou E doit *toujours* être représenté entre deux processeurs de type T : un réservoir-stock amont et un réservoir-stock aval (les nombreux lecteurs de l'ouvrage essentiel de Cyert et March (1963-1971) sur la représentation systémique de l'entreprise auront noté de même l'extrême importance qu'ils attachent au concept de *tampon — slacks variables* — dans la modélisation du processus assuré par la firme).

Ces précisions n'affectent pas, on le vérifie, l'essentiel de la représentation de la structure du sous-système opérant qui résultait du schéma général de modélisation en réseau développé au chapitre 5, si elles permettent de l'affirmer. Le graphisme proposé par J. Mélèse (1972, p. 91) sous le nom significatif de *0. Graphe* permet de visualiser en général commodément l'image résultante, en lui associant les valeurs des caractéristiques que l'on associe aux divers processeurs identifiés (capacité de traitement, capacité de relation, ratio d'efficacité, d'effectivité, de coûts, etc.).

La re-modélisation du réseau des processus décisionnels

En revanche la prise en compte explicite du sous-système de mémorisation des informations-représentations dans la représentation du système de pilotage va nous conduire à reconsidérer la modélisation de ce dernier. Jusqu'ici, en effet, nous pouvions le tenir comme un réseau de processeurs décisionnels, processeurs susceptibles de présenter des niveaux de sophistication différents (décision, mémorisation, coordination, imagination, finalisation). La différenciation d'un sous-système de mémorisation, *bien commun* du Système Général, nous conduit à suggérer un certain nombre d'agencements à privilégier au sein du réseau décisionnel qui partage — ou peut partager — une mémoire commune à laquelle le système de pilotage est nécessairement connecté. Ce qui pourra remettre partiellement en cause les schémas actuels de sa modélisation et en particulier un des plus séduisants d'entre eux, celui de M. Mesarovic, connu sous le nom de *système hiérarchique à niveau multiple* (cf. M. Mesarovic *et al.*, 1970, et une excellente présentation française de A. Titli, 1975).

Ces schémas types de modélisation des systèmes de pilotage du Système Général peuvent, semble-t-il, être considérés entre deux extrêmes :

D'une part, l'hypothèse de référence de l'automatique traditionnelle, exprimée crûment par le titre d'un article important de R. Conant et R. Ashby (1970) : *Tout bon système de pilotage*[1] *d'un système (opérant) doit être un modèle de ce système : tout système de pilotage qui soit à la fois le plus réussi* (successful) *et le plus simple* doit *être isomorphe du système à piloter.* Autrement dit, le modèle du système de pilotage doit être coulé dans le même moule que celui qui a été retenu pour le système opérant. Ce qui conduit Conant et Ashby à conclure en illustrant leur proposition : *La question n'est plus de savoir si le cerveau modélise son environnement : il le doit.* On comprend qu'une telle proposition ne soit pas aisément acceptée dans sa généralité... et l'expérience quotidienne suggère qu'elle n'est pas toujours aisément praticable. En revanche, elle pourrait s'avérer très fructueuse si le moule du système opérant était utilisé pour *dessiner une partie au moins du système de mémorisation* (cf. p. 171). Mais dans ses termes brutaux, elle introduit une contrainte si forte pour le modélisateur que l'on comprend que celui-ci ait cherché d'autres référentiels pour guider sa démarche.

À l'autre extrême, la thèse d'une modélisation du système de pilotage fondée sur celle des projets du Système Général a trouvé de nombreux adeptes parmi les théoriciens du management des organisations socio-économiques. Brillamment illustrée par les travaux de l'historien A. Chandler (1962), elle peut se résumer en une formule frappante : *Dis-moi quelle est ta stratégie, je te dirai quelle est ta structure.* En d'autre terme, l'examen des finalités du Système Général et de leurs articulations justifie nécessairement la sélection des arrangements internes du système de pilotage, la considération du système opérant n'intervenant que pour introduire quelques contraintes habituellement peu astreignantes.

Partir de ce que le système *fait, ou* partir de ce qu'il *voudrait faire ?* Les deux hypothèses ont en elles-mêmes leurs limites, d'autant plus que l'une et l'autre ne prennent pas en compte la liberté potentielle de chacun des processeurs décisionnels intervenant dans le système de pilotage, surtout si chacun d'entre eux est doté de capacités de coordination (niveau 7), d'imagination (niveau 8) et *a fortiori* de finalisation (niveau 9) (c'est d'ailleurs en partant de cette observation, dont ils attribuent légitimement la paternité à H. Simon (1958), que M. Mesarovic et ses collaborateurs développeront leur théorie. Nous verrons pourtant qu'ils devront en limiter la portée pour pousser suffisamment leur formulation). H. Simon (1960, p. 44)

---

1. Je « tords » un peu la thèse en traduisant *regulator* par système de pilotage. Mais je ne crois pas modifier ce faisant l'esprit de l'hypothèse.

soulignera que *la forme d'une organisation dépend aussi des caractéristiques individuelles de ses membres* et il développera à partir de cet examen (généralisable à un système de pilotage et à ses processeurs) une contribution décisive pour l'application de la théorie du système aux objets sociaux (cf. en particulier J. March et H. Simon, 1958-1971).

Le schéma de référence de Thomson-Truden

C'est en s'y référant que J. Thomson et A. Truden développeront un cadre récapitulatif qui met commodément en valeur la diversité des moules possibles pour dessiner le système de pilotage d'un Système Général. Sa présentation succincte peut aider le modélisateur à mieux justifier son choix. Bien qu'établi pour clarifier la conception des organisations humaines, il peut être présenté en des termes suffisamment généraux pour servir à la définition de tout système de pilotage.

Positions relatives des processeurs décisionnels dans le S. de pilotage		*Sur les FINALITÉS (PROJETS) du SYSTÈME*	
		CONSENSUS	PAS de CONSENSUS
Sur les consé-quences des interventions (activités) du système	CONSENSUS	*Modèle n° 1* Type « bureaucratique » (l'exécutif)	*Modèle n° 3* Type « représentatif » (le législatif)
	PAS de CONSENSUS	*Modèle n° 2* Type « collégial » (le judiciaire)	*Modèle n° 4* Type « charismatique » (les « média »)

FIG. 8.1. — *Le schéma de référence de Thomson-Truden pour repérer la position relative des processeurs décisionnels à coordonner au sein du système de pilotage du Système Général (les exemples sont donnés à titre d'illustration)*

On peut, en effet, en partant de la considération de chaque processeur individuel, considérer pour chacun d'eux quatre situations instantanées possibles : il retient, ou non, les finalités du Système Général et les fait siennes ou non (il adhère aux projets, ou il les

récuse), d'une part, et d'autre part il escompte — ou non — que le découpage du système opérant sur lequel il intervient entraînera effectivement les conséquences anticipées des décisions du système de pilotage. Autrement dit, il peut considérer que sa place dans le réseau décisionnel est justifiée ou non par rapport aux finalités, et qu'elle l'est ou non par rapport à l'activité du système [1]. L'examen des « positions » de tous les processeurs décisionnels peut se présenter par un tableau récapitulatif qui fait apparaître les quatre archétypes de comportement possibles au sein du système de pilotage : consensus ou non sur les finalités (exprimées en terme de préférences ou de projets par exemple), consensus ou non sur les conséquences des interventions dans l'activité (exprimées en terme de choix de moyens par exemple). À chacune des quatre cases de ce tableau (cf. fig. 8.1) correspond un dessin différent possible du réseau interne du système de pilotage : Thomson et Truden les imagent par des noms de structures types familières dans le vocabulaire des administrations humaines. Les commentaires que chacun d'eux appelle nous éloigneraient de notre propos immédiat, mais leur seul exposé suffit à mettre en évidence trois conclusions importantes pour le modélisateur :

— il existe au moins quatre structurations types possibles pour dessiner un système de pilotage ;

— chaque fois que l'on devra faire l'hypothèse que la position de l'un au moins des processeurs décisionnels est susceptible de changer, il importera de s'interroger sur la possibilité d'un changement corrélatif dans la forme du réseau ;

— l'imbrication des quatre formules est *a priori* possible.

Le modèle du système hiérarchisé à niveaux décisionnels multiples

Cette discussion était nécessaire, indépendamment de son intérêt intrinsèque, pour mieux interpréter la contribution de la *théorie des systèmes hiérarchisés, à niveaux multiples à* la systémographie des systèmes de pilotage. A. Titli (1975, p. 13) présente son ambition à proposer une synthèse entre les deux extrêmes que l'on mentionnait précédemment (cf. p. 175) : *Finalement, face à un processus complexe, sur lequel on doit réaliser une fonction de commande*

---

1. Ce schéma a été repris par d'autres auteurs qui l'ont parfois utilement présenté par une distinction entre les conflits de moyens et les conflits d'objectifs (cf., p. ex., A. COTTA, 1976).

complexe [1]*, une approche de commande à plusieurs niveaux peut être réalisée par deux voies simultanément :*

1 / *La fonction de commande globale peut être divisée en fonctions de commandes plus simples formant une hiérarchie, ce qui conduit à une décomposition verticale en sous-système de commande* (ce que nous avions appelé la modélisation par les finalités du Système Général).

2 / *Le processus peut être divisé en sous-processus plus simples, commandés suivant des critères locaux, les actions de commande locales étant coordonnées par les niveaux supérieurs de la hiérarchie* (ce que nous avions appelé la modélisation par les activités du Système Général).

La figure 8.2 image la simultanéité délibérée de cette démarche modélisatrice (repris de A. Titli, 1975, p. 8 et de M. Mesarovic *et al.*, 1970, p. 49 et 51). Il met bien en valeur la fécondité de cette méthode de modélisation qui permet de privilégier les fonctions de coordination entre les activités et les finalités que doit assurer le système de pilotage ; elle propose en effet une formalisation par laquelle la plupart des procédures de coordination peuvent être représentées. En comparant la brève discussion qu'en propose M. Mesarovic *et al.* (1970, p. 59 +) à la remarquable analyse de la coordination dans les organisations humaines que propose Jay Galbraith (1973), on vérifiera la généralité de cette présentation. On évaluera pourtant ses limites en observant l'hypothèse fondamentale sous-jacente de divisibilité rationnelle des finalités qu'elle implique : le « consensus » des processeurs décisionnels sur les finalités du Système Général ne doit pas être remis en question, et Mesarovic l'accuse en baptisant *supremum* (ou processeur suprémal) le processeur au sommet de la hiérarchie : le modèle ne recouvre donc que la première colonne du tableau de Thomson-Truden (cf. fig. 8.1, p. 176). Il importait de bien mettre en valeur ce point qui limite la généralité de la théorie des systèmes hiérarchisés à niveaux multiples dès lors qu'on se propose de systémographier des objets complexes tels que les objets sociaux. En revanche, elle permet de dépasser le modèle n° 1 (fig. 8.1), qui fut longtemps le seul modèle d'organisation des systèmes de pilotage dont disposaient les organisateurs : le modèle strictement hiérarchique (le choix du mot *organigramme* si fréquemment utilisé dans la systémographie des systèmes de pilotage

1. Ce que A. Titli désigne ici sous le nom de *processus complexe* correspond à ce que nous appelons ailleurs le sous-système opérant. De même la *fonction de commande* correspond au sous-système de pilotage.

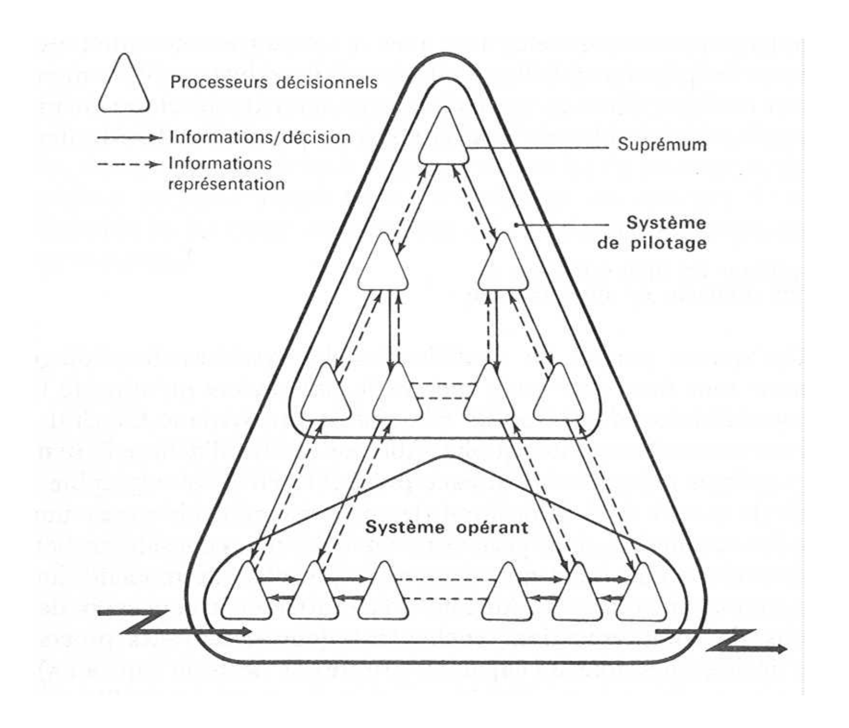


FIG. 8.2. — *Le schéma de coordination hiérarchisé au sein du système de pilotage (modèle Mesarovic-Titli) On remarquera l'absence des processeurs de mémorisation dans ce type de modèles*

des objets sociaux est sans doute significatif de cette restriction, par la connotation : *organigramme hiérarchique* qui lui est usuellement associée au moins en langue française). On lui préférera volontiers la formule proposée par J. Mélèse : *O. Graphe* (cf. p. 160) qui traduit bien celle retenue par M. Mesarovic : *Block-diagram* dans la terminologie anglo-saxonne. Le schéma de M. Mesarovic permet en effet de prendre en compte aussi la formalisation du modèle n° 2 de la figure 8.1 : la coordination des divergences dans les interventions des processeurs décisionnels sur le système opérant. Ce qui légitime l'intérêt que provoque actuellement ce schéma en systémographie : cette nouvelle contribution de l'automatique à la théorie du Système Général est déjà féconde pour bien des applications.

Les développements que connaissent actuellement à partir de la théorie des jeux la théorie des conflits et la théorie des coalitions devraient enrichir dans les prochaines années les formalisations dont disposera la théorie du Système Général pour faciliter la conception des modèles n°s 3 et 4. de notre référentiel des systèmes de pilotage (cf. fig. 8.1). On doit se borner ici à mentionner ce thème faute de pouvoir lui consacrer les développements nécessairement amples qu'il mérite (cf. en particulier B. Munier, 1973).

Le système de mémorisation :
un fait nouveau en modélisation

Ces quatre moules de modélisation des systèmes de pilotage ignorent tous dans une large mesure le *fait nouveau* qu'apporte la conceptualisation du *système de mémorisation* du Système Général : c'est sur cette observation qu'il semble nécessaire d'attirer l'attention, compte tenu de son impact prévisible en systémographie : le fait de mettre à la disposition des processeurs décisionnels une mémoire commune doit permettre en effet de reconsidérer bon nombre des contraintes que s'imposait jusqu'ici la modélisation des systèmes de pilotage. Au lieu d'être astreint à concevoir des réseaux de communications enchevêtrés (connectant des processeurs décisionnels dont les capacités propres de décision (niveau 5), de mémorisation (niveau 6), de coordination (niveau 7), d'imagination (niveau 8) et de finalisation (niveau 9 : chap. 6) sont *a priori* toutes différentes), il est possible de tirer parti du *transfert* possible au sein du système de mémorisation de la collection des programmes d'action dont dispose (et souvent qu'élabore) le système de pilotage. L'ensemble des processus décisionnels *programmables,* qu'ils visent la génération d'une décision d'action directe (niveau 5), d'une décision d'apprentissage (niveau 6), d'une décision de coordination (niveau 7), d'une décision d'invention (niveau 8) ou d'une décision de finalisation (niveau 9 : élaboration des projets ou des stratégies) peuvent ainsi être mis en pool à la disposition de chaque processeur décisionnel, dès lors qu'il est *directement* connecté au système de mémorisation. Le dessin du réseau interne de pilotage est ainsi susceptible d'être sensiblement allégé, en même temps que la formalisation de l'organisation (l'intervention du programme sur la structure) est rendue plus explicite. Le schéma n'impose certes pas la programmation formelle (algorithmique) de tous les processus décisionnels, mais il permet leur prise en compte tout en suggérant au concepteur une alternative souvent fructueuse pour réduire l'enchevêtrement du réseau de pilotage, dès lors que celui-ci, de compliqué, devient complexe (cf. p. 91). Il accuse par ailleurs la nécessaire différenciation du système de mémorisation et du système de pilotage *(ce n'est pas parce qu'un programme est mémorisé qu'il*

se met en œuvre spontanément), différenciation à laquelle les cybernéticiens n'avaient peut-être pas été assez attentifs (surtout lorsque certains d'entre eux tentèrent d'appliquer leur modèle [1] à la conception des *systèmes* dits *intégrés de gestion* au service du management des systèmes sociaux ! Leurs échecs témoignent des dangers de cette confusion tacite entre les processus informationnels et les processus décisionnels).

Le codage entraîne la mémorisation

Cette conception du système de mémorisation considéré comme central pour le Système Général présente un autre avantage dans la définition détaillée du système de pilotage qui a peut-être été trop souvent négligé dans la réalisation de bien des systémographies. Nous avons en effet dû faire l'hypothèse que le Système Général, dès qu'il passait du niveau 3 au niveau 4, se fabriquait nécessairement un *code* (*via* des transducteurs, cf. p. 106), ou un *langage*, bien commun du système, par lequel les *événements* qui caractérisaient l'activité étaient *représentés* par des informations. Ce code va s'avérer l'outil de coordination implicite indispensable au couplage du système de décision sur le système opérant (passage du niveau 4. au niveau 5). Il va imposer au système de pilotage *une unique représentation commune* du système opérant. Ce bien commun, pour rester commun, sera pris en charge par le système de mémorisation qui, en sus de la bibliothèque des bandes-programmes (cf. R. Thom, 1974, p. 138), gérera *l'album des représentations de ses comportements successifs* (antérieurs, et éventuellement anticipés) : la mémoire des souvenirs que le Système Général se constitue. L'hypothèse d'une rationalité (même limitée) des processeurs décisionnels implique qu'ils utilisent en intrant ces informations-représentations : il faut pour cela qu'ils puissent en disposer dans des conditions qui assurent leur unicité. Le modèle du système de mémorisation se prête particulièrement bien au respect de cette condition : la connexion directe de chaque processeur individuel au système de mémorisation est donc indispensable à ce titre. Il est dès lors plus légitime encore de justifier cette relation directe au titre de l'accès au programme : *la décision*, dira F. Perroux (1975, p. 148), *relie les variables de mémoire aux variables de projet*.

---

1. On peut, pour faire image, proposer de désigner ce modèle des cybernéticiens comme étant de niveau 4, 5. Il imbrique en effet les deux niveaux 4 et 5 de notre typologie de base (cf. chap. 6), sans permettre de les distinguer.

3. Organiser des projets plutôt que des structures

Le système de pilotage centré en pool sur le système de mémorisation

On est ainsi conduit à privilégier une représentation du système de pilotage centré en pool sur elle du système de mémorisation, le réseau des connexions spécifiquement décisionnel restant bien sûr à

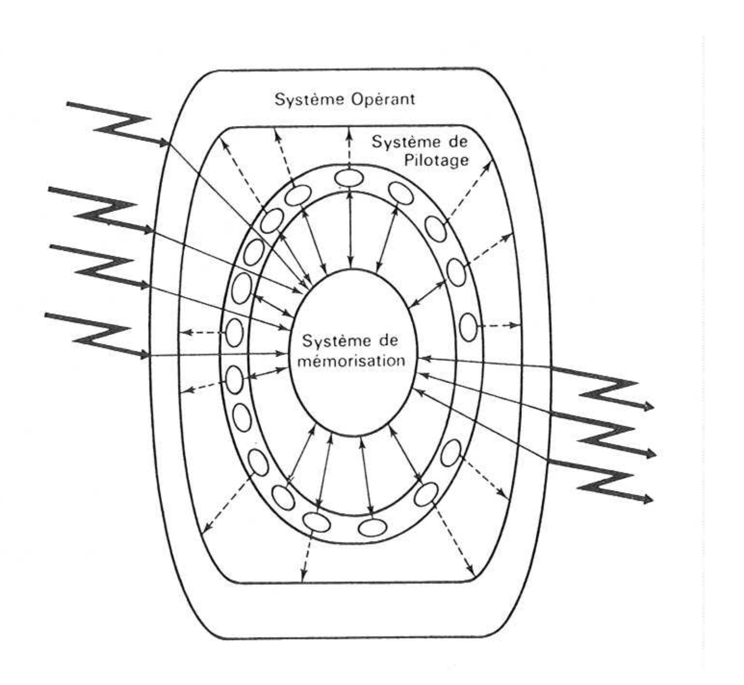


FIG. 8.3. — *Le système de pilotage centrée en pool sur le système de mémorisation : un modèle achétypal de « l'organisation » du Système Général*

définir (par exemple par rapport au référentiel de Thomson-Truden), après avoir été allégé de trois contraintes pesantes :

— la coordination par les codes ;

— la coordination par les programmes... programmables ;

— le déplacement au profit du pool de mémorisation d'un bon nombre des communications qui n'affectaient que la fonction mémoire de chaque processeur individuel.

La figure 8.3 illustre cet examen en proposant une sorte de modèle archétype de l'organisation d'un Système Général [1].

La modélisation spécifique du système de finalisation

Ce modèle général de *l'organisation* du Système Général prend sans doute en compte de façon satisfaisante les fonctions de décision, d'apprentissage et de coordination de son système de pilotage. Il reste à s'assurer qu'il est compatible avec les fonctions d'imagination et de finalisation que l'on peut souhaiter ou devoir également modéliser. Jusqu'à ce stade, en effet, de *tels pilotes, quelles que soient la difficulté et la complexité de leur tâche, « fonctionnent en pensée asservie » pour reprendre l'expression d'Aurel David, c'est-à-dire qu'ils obéissent à un but injecté de l'extérieur : c'est un pilote d'ordre supérieur qui a fixé ce but* (J. Mélèse, 1972, p. 27)... ou plus généralement ces buts... *Rechercher « le » niveau initial d'où part, dans l'absolu, la racine de l'arbre des finalités et buts est illusoire : on pourra toujours découvrir quelque chose, un système, qui contraint ou oriente le pilote à ce niveau* (*id.*, p. 28). Illusoire sans doute mais inévitable : une systémographie d'un objet quelconque ne sera crédible (et même utilisable) que si les hypothèses du Système de Représentation explicitent, outre ses finalités propres, celles qu'il attribue à l'objet modélisé (cf. chap. 3, p. 81, et chap. 6, p. 135). Curieusement à ce point, J. Mélèse renvoie son lecteur au célèbre exposé du structuralisme de J. Piaget : or une des caractéristiques les plus surprenantes de cette œuvre de J. Piaget est d'évacuer la finalisation au profit de *l'autoréglage entraînant la conservation et une certaine fermeture* (J. Piaget, 1968, p. 13). Ce qui constitue une

---

1. En interprétant les travaux des psychosociologues sur les systèmes de communication dans les groupes sociaux, par exemple, on pourrait montrer que les systèmes de communication centrés en pool sur les mémoires collectives s'avèrent non seulement plus démocratiques, mais aussi plus économiques (cf. R. MUCCHIELI (1971), et C. FLAMENT (1965)). Y. FRIEDMAN (1974) a très clairement souligné ce point au terme d'une investigation originale.

définition passablement restrictive de la finalisation : la seule conservation !

Piloter des projets, et non des structures

Cette fuite inconsciente devant l'identification du système de finalisation (qu'il soit *inné ou acquis :* cf. K. Lorenz, 1960-1974) du Système Général s'interprète sans doute par une pression culturelle qui nous valait d'assimiler la structure à l'organisation, en impliquant une stabilité conjointe de l'environnement et des finalités de l'objet modélisé. Dès lors que nous considérons l'organisation comme la conjonction d'une structure instantanément stable et d'un programme, il nous faut l'interpréter par rapport aux *projets* par rapport auxquels elle se justifie et non plus par rapport à la structure stable qui la décrit à chaque instant. Piloter un système organisé ne consiste pas à. activer ses structures, mais à gérer ses projets dans le temps. Ses activités dans son environnement ne s'entendent que comme des interventions finalisées et éventuellement finalisantes, s'échelonnant dans le temps. C'est par rapport à ses projets qu'il est possible d'interpréter et de modéliser fructueusement les comportements d'un objet, non par rapport à ses structures. Le passage du concept de structure au concept d'organisation impliquait le concept de programme ; la définition des programmes n'est intelligible que par rapport à celle des projets que l'on attribue aux systèmes. Appliquée à la gestion des objets sociaux, cette conclusion nous conduit effectivement à une remise en cause de bien des théories en cours. L'enjeu est le passage d'une *gestion des structures* (bien souvent masquée sous le label d'une gestion par objectif... de conservation des structures !) à une *gestion des projets qui* fonde l'organisation et légitime ses interventions successives, programmées ou non. C'est l'immense mérite de R. Ackoff et F. Emery (1972) que d'avoir mis en évidence l'urgence d'une modélisation des *systèmes intentionnels* (purposefulsystems), capables non seulement de se comporter par rapport à quelque finalité injectée et permanente (les systèmes finalisés : *goal-seeking systems)* mais aussi d'élaborer et de changer eux-mêmes leurs finalités, leurs projets, leurs intentions. La conceptualisation qu'ils proposent en réponse ne saurait être résumée dans ce cadre, d'autant qu'elle est nécessairement inachevée (nous le notions déjà en mentionnant la contribution de P. Tabatoni et P. Jarniou — 1975 — à la fin du chapitre 6, p. 147), mais elle confirme la compatibilité du modèle auquel nous nous sommes précédemment arrêtés avec la modélisation des fonctions d'imagination et de finalisation. (Les travaux de M. Shakun (1975) sur la théorie qu'il a baptisée *normativisme situationnel,* et qui constituent un prolongement important dans ce sens, étayent notre argument.)

Si l'on ne peut à ce jour proposer un schéma directeur suffisamment élaboré de la systémographie du système de finalisation

du Système Général, on peut contribuer à stabiliser son vocabulaire, afin de faciliter la communication entre chercheurs d'une part et entre chercheurs et hommes d'action d'autre part. Un système de finalisation (ou *système de valeurs, ou système de normes,* quelquefois *systèmes des politiques ?*) s'articule en général entre un *supremum : les finalités,* et des processeurs de symboles eux-mêmes habituellement différenciés en *projets* (ou systèmes *d'objectifs, parfois* aussi : missions ou stratégies). Le réseau des projets n'est pas nécessairement arborescent, c'est même souvent un *treillis.* Chaque projet s'articule ensuite de façon généralement *hiérarchisable* en *buts* (Shakun précise à juste titre : *buts opérationnels).* On s'efforce habituellement d'associer à chaque but un *critère* évaluable. Ce vocabulaire n'est pourtant pas encore stabilisé, malgré les remarquables contributions d'E. Jantsch (1969 et 1973), ainsi qu'en témoigne le choix des termes retenus par J. Mélèse (1972, p. 38) et bon nombre des documents présentant les systèmes plans-programmes-budgets — SPPB (à l'exception pourtant de l'étude de G. d'Aumale, 1968, p. 63).

La TSG, théorie de l'organisation des systèmes

Cet examen de la propriété d'organisation du Système Général nous a permis, malgré les insuffisances conceptuelles que l'on a soulignées au passage, de rassembler en une synthèse provisoire mais stable une présentation d'ensemble des deux premiers grands volets de la Théorie du Système Général, *théorie de la modélisation des objets fonctionnant* et structurés. Il nous livre aussi la clef qui nous permettra de déployer son deuxième volet : *la théorie de la modélisation de L'objet évoluant : on* appauvrirait considérablement la systémographie en ne lui livrant que la moitié des cartes pour jouer son jeu. Il faut pourtant souligner que l'on n'a pas encore tiré tout le parti que permet la seule application loyale de cette *théorie de l'organisation des systèmes actifs et stables.* Il semble en particulier que l'important travail qui a été développé, principalement en sociologie et en management, depuis une quinzaine d'années sous le nom de *théorie des organisations* puisse y trouver l'occasion d'une synthèse clarificatrice et bien venue (M. Crozier, *in* C. Ballé – J.-L. Peaucelle, 1972, p. 164, exprime très bien cette *intuition).* On peut, en conclusion provisoire, y inviter les chercheurs concernés, tout en rappelant aux autres, qu'ils soient *ingénieurs* en sciences sociales ou en sciences de la vie, ou en science physique, la fécondité modélisatrice du concept d'organisation du Système Général !

*
* *

▶ Relecture

L'organisation a été jusqu'ici le concept absent de la plupart des définitions du système, observait très pertinemment Edgar Morin (1977, p. 102) en réintroduisant ce concept qu'Auguste Comte avait banni de la physique de la matière (les *corps bruts, inorganiques*), pour le réserver aux *phénomènes vitaux, la physiologie et la physique sociale, qui, eux, tiennent à l'organisation* [1]. On avait été surpris, en effet, en achevant la rédaction originale de ce chapitre en 1976, par le caractère nécessairement central du concept d'Organisation pour une théorisation consciencieuse du concept de système : Pourquoi cette conclusion si naturelle n'avait-elle pas été reconnue telle par la quasi-totalité des auteurs que l'on avait consultés et qui, par ailleurs, nous avaient tant apporté ? Les notions familières de structure, de réseau, de relation, d'interaction ne suffiraient manifestement pas à rendre compte de cette propriété fondamentale d'un système en général : il est doté d'une organisation, *il est organisation, à la fois organisé et organisant.* Ce sera un des nombreux mérites d'Edgar Morin que de nous avoir invités à reconnaître la puissance, la complexité et l'intelligibilité de ce concept : on peut, je crois, présenter les deux premiers tomes de *La Méthode* (1977, 1980) comme une unique entreprise d'exploration aussi profonde que possible de ce seul concept, *l'Organisation.* Exploration sans doute encore inachevée, et peut-être inachevable, que l'on ne saurait réduire à un chapitre parmi neuf ! Exploration pourtant d'autant plus indispensable que le grand coup de chalut donné par Edgar Morin nous vaut tant de trésors oubliés qu'il nous faudra du temps pour les identifier, les étiqueter et les ranger dans les cases de nos théories. (On a déjà mentionné par ailleurs quelques redécouvertes parallèles, qui ne sont encore que partiellement disponibles depuis 1980, de recherches tellement en avance sur leur temps, telle l'œuvre de A. Bogdanov, *Tectologie* (1913-1920), que leurs contemporains les dissimulèrent précipitamment !...). Un exposé synthétique d'une Théorie Générale (ou systémique ?) de l'Organisation est sans doute aujourd'hui concevable et devra être tenté, constituant sans doute l'autre face de cette unique pièce que l'on présente ici comme la Théorie du Système Général, théorie de la modélisation. Mais l'envergure de l'entre prise

1. Auguste COMTE, *Cours de philosophie positive,* 2e leçon (1980).

ne permet pas de la réduire aux quelques lignes d'une réintroduction. On peut, au mieux, mentionner ici quelques thèmes, quelques arguments pivots, qu'il faudra prendre en compte, et qui peuvent aider le lecteur pensif à une réinterprétation, dans un cadre conceptuel plus large, des énoncés instrumentaux ou méthodologiques que l'on avait initialement rassemblés dans ce chapitre 8. Évocation n'est pas raison... mais ces repères permettent de prendre date et de renvoyer aux quelques références importantes redécouvertes ou éditées entre 1977 et 1983.

— *Une définition* d'abord : la définition ensembliste classique de l'organisation conduisait, on l'a montré, à la réduire à une *structure.* En revanche, la définition fonctionnelle dégagée notamment par E. Morin (1977, p. 104) permet une interprétation dynamique : *Propriété d'un système décrivant sa capacité à transformer, produire, relier, maintenir.* Cette définition va conduire à la prise en compte d'une des deux dualités constitutives de l'idée même d'organisation, la *dualité diachronique autonomie-solidarité,* qu'expriment, bien qu'imparfaitement, les *dualités différenciation-coordination* et *comportement-évolution* (Piaget, 1976) que l'on a développées au chapitre 11. (L'autre dualité, *synchronique,* associe *comportement et interaction, ou commande et interaction ;* elle est plus familièrement entendue dans les interprétations structuralo-fonctionnalistes de la notion de structure.)

— *La reconnaissance de l'auto-organisation :* l'irruption de l'autonomie et la reconnaissance d'une *science de l'autonomie* constituent peut-être un des événements les plus originaux de l'activité scientifique des dix dernières années. Quelques pionniers (P. Vendryes, 1942, 1956, 1973, 1981) tentaient sans doute depuis longtemps de dégager les spécificités de ce concept paradoxal (paradoxal en ce que l'autonomie nécessite certaines formes de dépendance, ou de solidarisation). Mais il fallait sans doute attendre la reconnaissance de la puissance et de la généralité du concept d'organisation pour que la modélisation de la complexité reconnaisse la nécessité d'une conceptualisation spécifique de l'autonomie : pour rendre compte de l'auto-organisation que l'on perçoit si spontanément dès lors que l'on décrit une organisation, il fallait reconnaître *l'autonomie fondamentale, l'autos* (E. Morin, 1980, p. 100). La convergence des travaux de H. von Foerster (1959), d'H. Atlan (1972, 1979), de F. Varela (1975, 1979) dégageant des modèles de l'auto-organisation allait susciter une synthèse transdisciplinaire dont les

conséquences épistémologiques sont loin d'être épuisées [1]. Une des grandes vertus de la définition de l'organisation que l'on empruntait précédemment à Edgar Morin va se manifester par sa capacité à s'étendre à la définition de l'auto-organisation (autonomie de l'organisation, organisation s'organisant elle-même, organisation de l'autonomie) :

Propriété d'un système rendant compte de sa capacité à transformer et se transformer, et produire et se produire, et relier et se relier, et maintenir et se maintenir.

Logiques de l'organisation : le paradoxe et le système [2]

La reconnaissance de la capacité auto-organisatrice d'un système conduisait naturellement à la conceptualisation d'une organisation (ou d'un système) qui se produit elle-même *(auto-poïese)*, ou qui se définit elle-même *(auto-référence)* [3]. On entrait alors dans la boucle — ouverte en spirale — des définitions autoréférentielles, et donc à une remise en question de la primauté des logiques exclusives assurées pourtant du crédit que leur donnent les formalismes mathématisés qui se sont développés depuis Boole (1854) et surtout depuis le début de ce siècle (Fregge, Russel, Zermelo, etc.). La manipulation du concept complexe *d'Organisation, à* la fois *opérateur et valeur* (organisant et organisé), manipulation qui s'avère relativement aisée par des énoncés certes encore lourds, conduit à retrouver le projet de Hegel (les trois tomes de *La Science de la Logique* paraissent entre 1812 et 1816 !).

Ce sera un des grands mérites de F. Varela que d'avoir eu l'audace intellectuelle de réaffronter ce défi en proposant à partir de ses recherches sur l'auto-organisation des systèmes neurologiques, de

---

1. Une solide synthèse en langue française : les *Actes d'un colloque du Centre culturel international de Cerisy-La-Salle*, publiés sous la direction de J.-P. Duruy et de P. DUMOUCHEL, L'auto-organisation, du Physique au Politique, Ed. du Seuil, 1983.

2. *Le paradoxe et le système* : on emprunte ce sous-titre au titre de l'ouvrage d'Yves BAREL (1979) qui a, le premier sans doute, explicité les insuffisances de la logique formelle classique (ou exclusive) en modélisation systémique.

3. H. MATURANA raconte dans l'introduction de *Auto-poïesis and cognition* (1980) comment il fut conduit à forger l'expression « autopoïese » (*poïesis* traduit production, création) pour exprimer ce qu'il désignait auparavant avec F. VARELA comme « l'organisation circulaire », formule qui ne rendait pas bien compte de la propriété qu'ils percevaient comme centrale : l'autonomie. L'autoréférence a une longue histoire dans l'histoire, de *La logique* d'ARISTOTE au théorème de GODEL (1931) ! La nécessité de révéler la portée épistémologique d'une réflexion initialement neurobiologique conduisit F. VARELA à généraliser l'autopoïese à l'autoréférence, jusqu'ici bannie, par un article devenu célèbre publié en 1975, A calculus for self reference (*International Journal of General Systems*, vol. 2, n° 5).

nouvelles tentatives de formalisation des logiques récursives [1]. On ne peut ici que mentionner ces développements qui se reconnaissent de riches et illustres lignages dans l'histoire de la Science, d'Héraclite (VI[e] siècle avant J.-C.) à Jean Piaget (✞ 1981) : le chapitre sur les *logiques récursives ou conjonctives* qu'il sera sans doute bientôt possible de rédiger devrait être le chapitre central du traité sur la *théorie générale de l'organisation* que l'on évoquait précédemment. Cette évocation suffit à légitimer l'introduction du *modèle* des trois niveaux de *l'organisation* qui, bien qu'encore imparfaitement justifié, s'avère assez instrumental aujourd'hui pour qu'on puisse le proposer aux modélisateurs des complexités organisées.

Le modèle des trois niveaux de l'organisation :
l'organisé, l'organisant et le mémorisant

Bien qu'ils se réfèrent l'un et l'autre au même inspirateur (H. von Foerster), c'est par deux itinéraires différents que F. Varela (1976-1979) et H. Atlan (1972-1979) ont été conduits à mettre en valeur une correspondance symbolique qui est sans doute au cœur de la Théorie du Système Général, la *correspondance entre l'Information et l'Organisation* [2] (l'Information in-forme l'Organisation ; l'organisation organise l'information qui la forme et qu'elle forme en s'organisant). Que ce soit à partir de la métaphore de *l'organisation par le bruit* (H. Atlan, 1972-1979) ou de celle de *l'autonomisation par formation interne, in formation* (F. Varela, 1979), nous sommes fondés à conceptualiser l'Organisation d'un système en correspondance avec l'information générée et traitée par et dans ce système. On a été conduit à généraliser la métaphore en une formule qui a peut-être plus que des vertus mnémotechniques :

L'information est à l'organisation ce que la matière est à l'énergie.

Cette correspondance organisation-information suggère une explicitation des processus informationnels au sein des processus

---

1. Ces tentatives sont présentées dans *Principles of biological autonomy* (1979), traduction française attendue en 1984 (Ed. du Seuil). Elles s'appuient notamment sur l'œuvre du mathématicien anglais G. SPENCER-BROWN (*The laws of forms,* 1969). Les travaux de pionniers, de H. von Foerster et de C. Gunther notamment, constituent leur référence initiale.

2. France CHAPPAZ propose une synthèse sous le titre Jeux et enjeux de l'organisation par l'information, p. 121-160, dans H. LEGUYADER et T. MOULIN, *Actes du premier séminaire de l'école de biologie théorique,* Paris, CNRS-ENS-ENSIA, 1981.

organisationnels ; et cette explicitation conduit à la re-connaissance du phénomène d'accumulation-organisation de l'information dans une organisation : autrement dit à la reconnaissance d'un *processus de mémorisation,* postulé autonome et différenciable au sein de toute organisation. On avait déjà été conduit à mettre en valeur, dès 1976, la généralité et la nécessité de la mémorisation au cœur de tout modèle systémique. Les développements récents de la théorisation de l'organisation d'un Système Général confortent et renforcent cette hypothèse, bien que son importance ne semble pas avoir encore été suffisamment perçue ni par les théoriciens ni par les praticiens de la modélisation systémique[1]. Si on l'accepte, on est conduit à retenir une représentation paradigmatique de l'organisation qui s'avère, à l'expérience, si aisément manipulable en modélisation, que l'on prend le parti de la présenter succinctement ici sans la justifier de façon soignée.

Il apparaît en effet que l'on peut représenter un système identifiable perçu à la fois *actif, stable et évoluant morphologiquement* en différenciant trois niveaux relativement autonomes ? [2]

— Le premier est celui du *système organisé,* que l'on entend communément comme la structure, ou le réseau constitutif du système : ce modèle se prête bien aux descriptions synchroniques, ou cinématiques. On est souvent tenté de réduire le modèle du système à ce seul schéma de *l'organisation organisée,* qui pilote son activité par une structure présumée figée.

— Le second est celui de *l'organisation organisante :* c'est ce modèle que privilégient implicitement les représentations diachroniques ou morphogénétiques du système. Il rend compte des processus par lesquels le système se transforme lui-même : le pilotage de ses transformations internes, de ses changements d'états ou de comportements, qui se repère par rapport aux projets plus que par rapport aux fluctuations instantanées de l'activité. Cette fonction organisante veille à modifier l'organisation stabilisée mais ne se substitue pas à elle. Mais elle se sait elle-même organisée et donc passible de transformations.

— Le troisième niveau est celui des *couplages* entre l'organisé actif et l'organisant transformant l'organisé : on prétend ici que ce couplage est assuré par le jeu d'un *système de mémorisation* propre à l'organisation et pourtant autonome et différenciable. Sur les modalités de ces couplages, sur la discussion des fonctions spécifiques de ce système de mémorisation (qui ne processe, par définition, que

---

1. Voir notamment J.-L. LE MOIGNE et D. PASCOT, Les processus collectifs de mémorisation : mémoire et organisation (1980), Actes *du Colloque d'Aix-en-Provence.*

2. On doit à Jacques PAILLARD cette présentation du modèle des trois niveaux de l'organisation, dans *Système nerveux et fonctions d'organisation* (1977), à paraître. Une discussion de ce modèle et son application aux modèles de « l'auto-organisation des systèmes de Décision » sont proposées dans les *Actes du Colloque de Cerisy-La-Salle,* sur La Décision, ses disciplines, ses acteurs (1980). B. Roy (Ed.).

des informations), sur les conditions d'alimentation (bruyante), d'élimination (oubli) et d'organisation interne (adressage) de cette mémoire, il reste à développer un certain nombre de propositions encore peu familières [1]. *La mémorisation est une idée neuve* non seulement pour la théorie de l'organisation, mais aussi pour la théorie de la modélisation. On espère cependant avoir suffisamment évoqué ce concept pour inciter les modélisateurs à y prêter attention lors de leurs entreprises. Il vérifieront le potentiel de généralité de ce *modèle diachronique ou potentiel* des trois niveaux en le mettant en correspondance avec le *modèle synchronique* ou *cinétique* classique que l'on a rappelé au chapitre 6 (cf., p. 141) : l'organisation stabilisée en correspondance avec le système opérant, l'organisation organisante en correspondance avec le système de décision, l'organisation mémorisante en correspondance avec le système d'information.

De l'auto-organisation à l'automodélisation

Ces développements de la théorie de l'organisation et de l'auto-organisation affectent de façon très enrichissante les développements actuels et prévisibles de la théorie de la modélisation systémique : on était souvent tenté auparavant de réduire la construction d'un modèle à la représentation du premier niveau, celui de la structure (ou de l'organisation stabilisée, ou du système organisé présumé invariant). Cet appauvrissement inconscient obère la validité et la représentativité de la plupart des modèles : rien pourtant ne contraint le modélisateur à ignorer, dans l'organisation de son modèle, les deux autres niveaux e en particulier le modèle du système de mémorisation affecté d'une *boîte noire symbolique*. Sa seule présence, lors de l'interprétation des raisonnements effectués sur ce modèle, suscitera les questions garde-fous, et souvent suggérera quelques éléments descriptifs réduisant l'opacité initiale du modèle de la mémoire-boîte noire !, *modèle du modèle*.

L'exercice n'est sans doute pas familier, mais on vérifiera aisément, lors de tout exercice de modélisation d'un phénomène perçu complexe, combien il se met aisément en œuvre ; on pourrait montrer la fécondité de cette procédure automodélisatrice pour la conception des modèles programmables que l'on développe de plus en plus en *intelligence artificielle* : du programme qui se programme lui-même en fonction de sa propre exécution, on passe au modèle qui se modélise lui-même en fonction de l'histoire de ses interprétations. On retrouve sans surprise ici la continuité entre les développements contemporains de l'intelligence artificielle et de l'épistémologie génétique que l'on a évoquée au chapitre 2.

---

1. Voir en particulier, dans la référence en note (1, p. 190), l'article : Organisation, construction et destruction de la mémoire collective.

Mesures de l'organisation

Les développements récents de la théorie de l'organisation que l'on vient d'évoquer ont entraîné quelques développements corrélatifs sur les modèles de *mesure* de cette propriété complexe d'un Système Général. Si le principe même d'une évaluation relative de la qualité d'une organisation semble intuitivement acceptable (« un système est présumé plus ou moins organisé qu'un autre », ce qui implique une évaluation relative), la complexité de la notion d'organisation (même assumée intelligible par le modèle des 3 niveaux par exemple) semble interdire, en pratique, une réduction à une mesure quantifiable unique. On verra pourtant aux chapitres 10 et 11 que des indicateurs dérivés des notions d'entropie énergétique et informationnelle sont suggérés pour rendre compte de la variété des comportements possibles ou de la richesse organisationnelle. On a vu par ailleurs que l'on pouvait proposer des indicateurs rendant compte de la complexité du « premier niveau » (cf. chap. 5, p. 123) par les formules de Shannon Voge. On doit enfin mentionner une formule générale mettant en valeur les « déséconomies d'échelle », autrement dit la diminution des performances d'un système en fonction de la croissance de sa dimension (nombre N de processeurs interconnectables : organisation stabilisée de niveau 1 !) : elle est, dans un cas très général étudié par J. Voge, de type $C = kN - k' N^2$. Si l'on considère un cas de figure théorique de processeurs homogènes du type contacteurs, N exprimant un pourcentage de connexions par rapport au maximum, donc variant entre 0 et 1, avec $k = k' = 1$, on voit que la performance du réseau croît jusqu'à $N = 0{,}5$ et décroît ensuite : l'interconnexion généralisée coûterait beaucoup plus qu'une interconnexion partielle, à 50 % !

Organisation : l'ordre et le désordre

Analogie un peu brutale sans doute pour évoquer en conclusion le *coût d'un excès d'ordre* (le câblage complet !) et la légitimité économique d'un certain *désordre* (un câblage partiel, peut-être même aléatoire, à 50 %). Au terme d'une discussion du concept d'organisation on retrouve sans surprise l'évocation de la dualité nécessaire de l'ordre *et* du désordre, dualité que l'organisation peut révéler et exploiter, au lieu de la réduire en aspirant à un ordre absolu, bannissant tout désordre et toute ambiguïté. Cette nécessaire conjonction, pour être aisément prise en compte, appelle des logiques de l'organisation qui ne soient pas exclusives... On comprend l'impatience des modélisateurs sollicitant ces renouvellements des logiques que gardent trop sévèrement des logiciens adulant la perfection d'un ordre pur. Et, puisque c'est en modélisant systémiquement qu'on devient logicien, invitons le lecteur à modéliser

assez pour que se constitue le terreau d'expériences sur lequel pourront se concevoir d'autres formalismes, d'autres économies de la pensée. Les développements récents de la théorie systémique de l'organisation, que l'on vient succinctement d'évoquer, confirment la disponibilité d'une instrumentation cognitive qu'E. Morin reconnaît comme une Méthode, en attendant qu'elle s'affine en quelques logiques.

Note complémentaire pouf la deuxième édition

([a]) La notion de modèle trivial a été introduite par H. von Foerster, afin de souligner les dangers d'une interprétation appauvrissante d'un modèle : contraindre un système sociotechnique à se comporter conformément à son modèle, c'est le « trivialiser » : la formule s'applique parfaitement à la plupart des méthodes d'informatisation des organisations.

CHAPITRE 9

		A	S	E
3	**F**	4	7	10
2	**O**	5	8	11
1	**G**	6	**9**	12

l'équilibration du système général :

régulation et adaptation de l'objet

1. Du « contrôle » à l'équilibration

L'équilibration : histoire de la stabilité

À l'image des fonctions de l'objet dans le temps, il nous a fallu associer l'image de la *permanence suffisante* de ses formes, par laquelle nous avons identifié le concept de stabilité de l'objet (cf. chap. 7).

L'examen quasi physiologique de la représentation de cette forme stable nous a conduit à reconnaître *l'organisation* sous la structure visible. Il ne nous a pas éclairé sur l'*histoire* de cette stabilité. Est-elle aléatoire, obéit-elle à quelque loi ? Peut-on au moins en proposer une représentation génétique qui permette d'interpréter, de repérer, les unes par rapport aux autres, les *formes stables successives* qu'exhibe l'objet modélisé, et peut-être même les *transitions* de l'une à l'autre ? J. Piaget, en répondant affirmativement à cette question, retient une expression heureuse pour désigner cette génétique : *Il existe un processus formateur général qui conduit des formes aux structures et qui assure l'autoréglage* [1] *inhérent à celles-ci : c'est le processus de* l'équilibration (J. Piaget, 1968, p. 95).

L'examen de ce concept d'équilibration du Système Général va nous permettre d'ordonner, en une dynamique de l'équilibre de l'objet, quelques notions familières, mais souvent enchevêtrées dans la pratique de la systémographie.

---

1. Par autoréglage, J. PIAGET entend explicitement : l'état d'équilibre (cf. p. 16).

L'objet a des qualités observables de stabilité

Observer un *changement* dans l'histoire d'un *objet identifié par ses projets dans son environnement tapissé de processus* implique quelques hypothèses sur des changements concomitants ou non de ses projets ou/et de son environnement (cf. chap. 7, p. 153). Cette concomitance risquerait de décourager l'examen et d'acculer le Système de Représentation à une sorte de fatalisme de l'aléatoire qui serait la négation même de son propre projet. Son expérience lui confirme pourtant que ce découragement n'est pas nécessairement fondé ; il sait *observer la stabilité* et il sait la représenter : au besoin, par une chronique de changements qui, bien que possibles, ne se sont pas exercés de façon observable. Il lui a pour cela fallu faire une hypothèse sur l'existence, au sein de l'objet d'un projet au moins, celui d'une certaine permanence de son identité, qu'il représente volontiers par l'hypothèse de quelque *système interne d'équilibration.*

C. P. Bruter caractérise très exactement cette hypothèse de modélisation par sa définition de l'objet : *un objet est un ensemble de forces de valeurs finies, coordonnées entre elles par un système de régulation, de sorte que, livré à lui-même dans son substrat naturel, il présente des qualités observables de stabilité* (C. P. Bruter, 1973, p. 33). Dans les champs de forces antagonistes qui tapissent l'environnement (le substrat), (équilibre instantané de ces forces qui crée l'objet observable (cf. chap. 4, p. 69) est provoqué et maintenu par l'objet lui-même qui ; échappant en quelque sorte à ses parents, développe son propre projet d'existence identifiable par un moyen hypothétique que l'on désigne couramment sous le nom de *système de régulation* : C. P. Bruter (1973, p. 32) le définit de façon très générale comme un dispositif qui *évalue les forces de composition de l'objet et puisse maintenir l'équilibre entre elles par un jeu de forces compensatoires*. Définition de la régulation compatible avec celle que nous avons introduite, en considérant l'intervention de l'objet sur un flux (cf. chap. 6, p. 131) et en le modélisant par un *Système Général qui soit au moins de niveau 3*.

Deux paliers de régulation

Compatible, mais beaucoup plus générale, puisqu'elle implique le passage d'une régulation de *flux processés* par un objet, à la régulation d'un objet par lui-même dans ses *champs de composition.* Cette extension est à la source de bien des confusions dans la modélisation de la stabilité : J. Piaget (1968, p. 16) le pressent très justement en proposant de distinguer deux paliers de régulation : *les*

unes demeurent internes à la structure déjà construite ou presque achevée, et constituent ainsi son autorégulation, aboutissant dans les états d'équilibre à son autoréglage. Les autres interviennent dans la construction de nouvelles structures englobant la ou les précédentes et les intégrant sous la forme de sous-structures au sein de structures plus vastes.

Curieusement, il ne reliera pas explicitement cette distinction essentielle à la prise en compte du concept d'équilibration qu'il introduit plus loin en le faisant apparaître (explicitement *in* J. Piaget, 1967, p. 28) comme un synonyme d'*autoréglage inhérent à l'objet*.

Nous pouvons aujourd'hui clarifier les concepts en proposant de définir la régulation de façon restrictive : la *stabilisation d'une structure achevée*, et en la considérant ainsi comme un cas particulier d'un phénomène plus général : l'équilibration, qui couvrira aussi la stabilisation des structures *inachevées*, elles-mêmes en *évolution morphogénétique dans les champs de forces constitutives* de l'objet modélisé. (Ce qui nous conduira, par exemple, à substituer l'expression « système d'équilibration » à l'expression « système de régulation » dans la définition de l'objet formulée par C.P. Bruter, afin d'assurer sa généralité).

Ces considérations sémantiques ne se justifient pas uniquement par le désir de doter la systémographie de bons bistouris (*la définition est un bistouri*, rappelle R. Ackoff, 1971, p. 671 : *s'il est rouillé, le chirurgien travaillera plus difficilement, le patient souffrira davantage et les chances de succès seront diminuées*). Elles s'imposent aussi pour la protéger contre la dictature du concept anglo-saxon de control que la cybernétique a longtemps réussi à faire peser sur la modélisation systémique. Elle l'utilise pour exprimer la régulation au sens strict que nous venons de retenir. Mais elle ne précise pas qu'elle ne l'utilise donc pas dans le sens usuel du verbe *to control* en anglais : *commander*. L'automatique considérera, d'ailleurs à juste titre, qu'elle dépasse la cybernétique en passant d'une *science de la régulation des processus* à une *science de la commande des processeurs*. Elle ne précise pas non plus qu'elle ne l'utilise pas dans la mauvaise traduction française du verbe *to control* : *contrôler ou surveiller*. Tant d'échecs en systémographie et tant d'énergie perdue résulteront de ces confusions tacites, qu'il était nécessaire d'attirer l'attention ici aussi sur l'enjeu des mots ! [1]

---

1. O. LANG (1965-1970, p. 14) soulignait justement à ce propos : « *Il faut dire ici qu'un chaos considérable règne toujours dans la terminologie cybernétique !* »

2. Un référentiel de l'équilibration : morphostases et morphogenèses

Ces précisions nous permettent de revenir à notre propos qui est la représentation des changements successifs de l'objet (actif dans son environnement changeant), identifié par ses projets, eux-mêmes changeants ! L'équilibration doit en effet nous rendre compte des quatre situations que nous rencontrerons lorsque nous observerons les formes stables de l'objet :

Relation du Système Général avec :		SES PROJETS (FINALITÉS) :	
		PERMANENTE	CHANGEANTE
SON ENVIRONNEMENT :	PERMANENTE	*Phase 1* *RÉGULATION* (HOMÉOSTASE)	*Phase 3* *ADAPTATION STRUCTURELLE* (TRANS-FORMATION)
	CHANGEANTE	*Phase 2* *ADAPTATION :* *1. Par PROGRAMME* (HOMEORHÈSE) 2. *Par RE-CODAGE* (HOMEOGENÈSE)	*Phase 4* *ÉVOLUTION STRUCTURELLE* (MORPHOGENÈSE)

FIG. 9.1. — *Le référentiel de l'équilibration du Système Général : phases 1, 2 et 3 : morphostase ; phase 4 : morphogenèse : il n'y a plus équilibration, mais évolution structurelle*

Il se peut, d'une part, que les projets du système (les finalités que le modélisateur attribue à l'objet) puissent être représentés de façon quasi invariante dans l'horizon considéré. Sur cette hypothèse se sont fondés avec succès tous les modèles forgés par les sciences physiques et par les sciences de la vie ; elle peut pourtant être abusive : en témoignent les échecs de bien des modèles élaborés sur elle par les sciences humaines et sociales, par exemple.

Il se peut d'autre part que les programmes du système représentant l'objet aient anticipé toutes les relations qui caractérisent son activité dans son environnement. L'hypothèse prise à la lettre n'est sans doute pas très réaliste, mais elle motive beaucoup les concepteurs de programmes, qu'ils soient politiques, informatiques ou éducatifs ! En pratique, le modélisateur tentera alors d'en rendre compte en ajoutant une ligne *divers et imprévu,* ou en parlant de *perturbations,* pour sauvegarder le *principe d'exhaustivité* de la description. Dans bon nombre de cas pourtant, on ne prétendra pas à une telle ambition et on considérera que les programmes disponibles ne couvrent qu'une partie, éventuellement minime, des relations intrants-extrants susceptibles d'être observées (on dira alors souvent qu'il *faut introduire un homme dans la boucle de régulation !).*

La figure 9.1 présente graphiquement les quatre situations d'observation que peut rencontrer le modélisateur : la relation du système avec l'environnement est ou n'est pas totalement connue, les projets du système sont ou ne sont pas certainement permanents. Les changements de stabilité observable peuvent être commodément différenciés dans ce *référentiel de l'équilibration,* qui se prête bien à une description historique du *cycle de vie* de l'objet modélisé.

Phase 1 : la régulation

La phase 1 est celle où il affirme son identité par quelque projet tenu pour permanent, en ayant reconnu son environnement et en ayant élaboré les programmes qui lui permettent la *satisfaction* de ses projets. Cette image rassurante de la stabilité est celle que privilégie le modélisateur qui cherche précisément à concevoir ou à décrire les programmes qui ramènent dans un état stable connu (cf. la définition de l'état, chap. 7, p. 155) le couple intrant-extrant par lequel il observe le système. Le maintien de cette *régularité* n'affecte pas l'organisation de l'objet : sa structure et ses programmes sont tenus pour invariants dans l'horizon considéré ; seuls sont modifiés les paramètres de la structure sur lesquels le système interne de pilotage interviendra par des décisions de commande (cf. chap. 8, p. 175).

On reconnaît la définition de la régulation au sens strict, que nous reprécisions précédemment, en nous référant au Système Général de niveau 3 et au-dessus (cf. chap. 6, p. 131).

— Généralité de la régulation

L'extraordinaire généralité de ce phénomène de régulation conduira souvent à définir toutes les formes de stabilité observée par ce seul moyen : la *régulation est aussi appelée la stabilisation,* écrit O. Lang (1965-1970, p. 27), qui proposera une formalisation souvent utile de ce concept. L. von Bertalanffy proposa judicieusement de désigner cette *stabilité de premier ordre* (l'objet stable doté de projets stables dans un environnement stable) comme étant une *homéostabilité* (expression forgée par le physiologiste W. B. Cannon en 1939, qui précisait qu'il développait les intuitions de divers prédécesseurs et, en particulier, du physiologiste français Ch. Richet ; ce dernier écrivait déjà en 1910 : *l'être vivant est stable... il est stable parce qu'il est modifiable*).

Pour éviter le danger des connotations trop spécifiquement biologiques, Bertalanffy préconisa aussi la désignation *steady state,* que J. de Rosnay (1975, p. 118) propose de traduire : *état stationnaire* (pour le contraster avec l'état statique qui correspond au cas du système qui n'a pas besoin d'être régulé pour ne connaître qu'un seul état !). En revanche, ce dernier proposera une définition de l'homéostasie qui me semble trop extensive puisqu'elle revient à assimiler l'homéostasie à l'équilibration en général... tout en la caractérisant trop restrictivement comme la *résistance au changement :* ce qui semble dû au fait que J. de Rosnay ne conçoit le système général que par rapport à une seule finalité éternelle : se *maintenir et durer* (p. 153).

— Relativité du primat de la rétromettance

L'universalité de ces stabilités de premier ordre des objets modifiables (sans lesquelles aucune modélisation ne serait possible) justifiait un *étonnement* qui semble pourtant n'avoir été perçu par les modélisateurs que depuis une trentaine d'années ; l'enthousiasme, voire l'engouement, qu'a provoqué la cybernétique dans les termes où l'a fondée N. Wiener (1948), peut s'interpréter par cette prise de conscience : la *stabilité est étonnante.* Elle l'est d'autant plus que la régulation qui la permet se fonde sur des programmes qui semblent souvent se référer à un même *mécanisme :* celui de la *réalimentation (to feed)* de l'extrant sur l'intrant : *l'existence d'au moins un couplage de type feed-back est une condition nécessaire pour la stabilité du système* (J. Eugène, 1972, p. 1731)

Cette quasi-universalité de la *relation de rétromettance* (nous avons, chap. 6, p. 240, indiqué les raisons pour lesquelles nous proposions de ne pas utiliser l'expression *feed-back*) était à son tour

étonnante et on comprend l'extrême intérêt de cette généralité dans la conception du Système Général. Cette généralité a pourtant des limites que L. von Bertalanffy (1968, 1973, p. 16 et 26 et surtout 1967, p. 67) devait souligner. Elle ne permet pas de représenter toutes les formes de régulation et, moins encore toutes les formes d'équilibration. Il faudra pouvoir faire également appel à *un concept qui est sans aucun doute fondamental en théorie des systèmes : celui d'arborescence* (Bertalanffy, 1968, 1973, p. 26 [1]). Nous traduisons par arborescence l'expression *hiérarchie order* (cf. chap. 5, p. 117 et chap. 8, p. 177).

L'examen des programmes de régulation conduira O. Lang (1965-1970 p. 13 et 14) à nuancer l'affirmation de l'universalité de la rétromettance (au sens *feed-back*). Il propose de distinguer trois types ou trois dispositifs programmables de régulation : le modélisateur économisera souvent temps et peine en les considérant tous les trois, avant de se précipiter sur le seul feed-back !

a / Le plus aisé et le plus simple utilise « l'élimination des perturbations » par des absorbeurs de chocs, des tampons, des boucliers, des isolateurs... (Le comportement de la tortue est stable, régulé par sa coquille face aux perturbations de son environnement.) Au lieu d'un couplage, il s'agit au contraire d'un découplage ! (que de régulations seraient facilitées en pratique si les concepteurs de systèmes pensaient à utiliser davantage les processeurs de type T dont ils disposent pour dessiner l'organisation du Système Général ! Cf. chap. 8, p. 180).

b / La *régulation par « égalisation des déviations »* correspond très exactement à la régulation par *recyclage en boucle fermée :* le système doit être de niveau 3 (cf. chap. 6, p. 131) pour être stabilisé par cette régulation. Un cas particulier intéressant de ce type de régulation par égalisation des déviations est celui des systèmes *mono-finalisés* par rapport à une seule norme absolument constante soumise à une perturbation qui disparaît avec le temps — on peut alors formaliser une définition d'un couplage tel que, sous certaines conditions, le comportement du système soit de type *ergodique,* c'est-à-dire qu'il devienne indépendant au fil du temps de l'état initial dans lequel la perturbation environnementale l'a rencontré, et qu'il puisse être repéré exclusivement par rapport à la norme qui caractérise l'état stable souhaité. La théorie des chaînes de Markov permet alors une modélisation opérationnelle de cette régulation par ergodicité (cf. par ex., J. Eugène, 1972, p. 1738).

---

1. Notons ici un oubli sans doute accidentel dans la traduction française (1973) du texte de BERTALANFFY (1968) : à l'appui de sa thèse, il cite certains auteurs dont H. Simon ; ce nom disparaît dans l'édition française, ce qui est regrettable, car la contribution de ce chercheur est sans doute la plus importante (cf. chap. 2, p. 57).

c / La *régulation par « compensation des perturbations » est une régulation par boucle ouverte : il faut introduire un processeur décisionnel* dans la boucle, capable de déterminer une décision de compensation par traitement des informations-représentation : le système doit être de niveau 5 (cf. chap. 6, p. 133). Du niveau 3 au niveau 5, nous passons de *l'arc réflexe à l'acte réfléchi,* du déterminisme absolu *stimulus-réponse* à la téléologie de la *compensation comportement-finalités* par la médiation de *l'information,* c'est-à-dire du *symbole :* le niveau 4. Si la décision de compensation n'est pas antérieurement préprogrammée, le modélisateur devra percevoir le *changement de seuil* que nous avons symbolisé par l'émergence du niveau 6 : le processeur décisionnel devra en improviser une, en puisant dans les réserves de sa mémoire.

L. von Bertalanffy, dans un ouvrage malheureusement encore peu connu, mettra lumineusement ce changement de seuil en méditant sur la *robotisation* de l'humain (1967). Ce changement de seuil correspond à un changement de situation ; il nous faut considérer une nouvelle forme de l'équilibration : de la stabilité par régulation, nous passons à la stabilité par *adaptation.*

Phase 2 : l'adaptation par programme

La *phase 2* est celle où, tout en maintenant l'intégrité des projets, le Système Général rencontre des relations avec son environnement qu'il n'avait pas programmé et dont il considère pourtant qu'elles concernent ses projets : ainsi, ce système thermostatique dans une pièce dont la fenêtre est ouverte alors que la température extérieure varie sans cesse entre – 30 °C et – 15 °C ; il ne peut plus reconstituer l'état stable à + 10° C pour lequel il était programmé et il ne dispose pas d'un programme lui permettant d'émettre une commande de fermeture de la fenêtre. Il va alors voir ses stabilités successives s'échelonner de façon apparemment erratique, et l'observateur ne parviendra même plus à identifier le projet (qui pourtant demeure). Il n'y a plus d'équilibration.

Le modélisateur observe pourtant qu'il doit pouvoir reconstruire peu à peu la ou les stabilités que le système avait perdues par rapport à ses projets : il faut pour cela le doter de quelques nouveaux programmes ; sans affecter la structure, mais en sélectionnant de nouveaux *points de paramétrage, ou* en agençant de *nouvelles connexions* entre les processeurs préexistants, il sera peut-être possible de provoquer (fût-ce par tâtonnements) une nouvelle stabilité compatible avec les projets du système. On parlera alors d'une *adaptation par programme.*

J. Litterer (1963, p. 324) remarquera judicieusement qu'à la différence de l'exercice d'une régulation, la mise en œuvre d'une adaptation sera coûteuse pour le système et qu'elle nécessitera des ressources spécifiques qu'il devra stocker : *une organisation sans « graisse » est condamnée par le prochain changement inopiné de l'environnement.*

Dans le cas des objets sociaux, J. March et H. Simon ont contribué de façon décisive à la modélisation de l'adaptation, qu'ils désignent comme un *processus d'innovation,* pour étudier les conditions de mise en œuvre des *programmes d'innovation.*

— Adaptation par découplage : de l'intérêt des arborescences

C'est dans ce sens que J. Mélèse, reprenant leurs travaux, pourra argumenter que *le surcouplage et l'instabilité qui en découlent interdiront également l'adaptation et l'apprentissage : en effet, pour pouvoir constater qu'une réponse n'est pas adaptée, en rechercher une autre, évaluer son effet, la mémoriser si elle est satisfaisante, sinon en essayer une autre, etc., il est nécessaire que la quasi-totalité des variables* (des intrants-extrants) *soient stables pendant une période plus longue que celle des essais-erreurs. L'adaptation requiert donc la stabilité, ce qui pourrait sembler paradoxal : plus précisément la présence de zones de stabilité suffisantes qui permettent la recherche d'ajustements locaux.*

Ce que J. Mélèse ici appelle le surcouplage s'exprime dans notre présentation par la *saturation a priori* des connexions possibles, ce qui prive le système de toute possibilité d'établir par programme des connexions nouvelles (*il n'a plus de mou ou de graisse, plus de tampons ou de stocks).*

Cette réduction du couplage conduit à privilégier le rôle des relations arborescentes dans le dessin du réseau des processeurs d'un système susceptible d'adaptation. Le sociologue J. D. Thompson (1967, p. 64) pourra, sur cette observation, proposer un schéma type d'agencement des processeurs intervenant dans le système opérant (dans les cas qu'il étudie : les systèmes technologiques proprement dits) ; il sera tel que les processeurs en interrelations *réciproques* (reliés par des relations ouvrantes et bouclantes) soient systématiquement localisés aux extrémités de l'arborescence, de façon à réduire le nombre des processeurs affectés par une perturbation inopinée (cf. chap. 5, p. 119). Nous retrouverons l'importance de ces désacouplages par arborescence dans l'étude de l'évolution de la structure du Système Général (cf. chap. 11, p. 247).

Ch. Alexander a pédagogiquement fort bien mis ce phénomène en évidence par l'histoire des 100 lampes qu'il emprunte à R. Ashby (1952, p. 151), à laquelle on renvoie volontiers le lecteur. Il y montre

comment une interconnexion générale de 100 lampes pouvant se rallumer lorsqu'elles sont connectées à au moins une lampe allumée (cette dernière ayant une chance sur deux de s'éteindre dans la seconde suivante : origine de la perturbation permanente), interdirait en pratique l'adaptation du système, c'est-à-dire l'atteinte d'un état stable (où toutes les lampes seraient enfin éteintes !). En revanche, la construction en arbre de dix groupes de dix lampes (l'interconnexion étant générale dans chaque groupe) permettrait en pratique une équilibration en moins de quinze minutes (Ch. Alexander, 1964, 1971, p. 32).

— L'adaptation par apprentissage

On a noté la spontanéité avec laquelle J. Mélèse, introduisant le concept d'adaptation fonctionnelle, lui associait celui *d'apprentissage.*

L'apprentissage constitue en effet une des modalités les plus riches de développement des adaptations par programme : sa représentation implique que l'on ait modélisé le système de *mémorisation* du Système Général correspondant ; elle est alors quasi spontanée (on percevra mieux encore ici les raisons pour lesquelles on a souligné si instamment l'importance de ce concept de mémorisation dans l'établissement des systémographies).

Dès lors que l'on peut considérer que le système garde *trace*, dans sa *bibliothèque de bandes programme* (cf. chap. 8, p, 171), des programmes qu'il a inventés pour *déclencher* la production d'un nouveau comportement (de nouveaux extrants associables à des événements intrants perçus comme nouveaux et *évaluables* par rapport aux projets du système, cf. p. 210) ; il est possible de considérer qu'il se met en position d'apprendre des programmes qu'il sera en mesure d'exhiber à nouveau lorsque son système de pilotage le sollicitera.

En ce sens, l'apprentissage s'interprète par une boucle de programme (et non plus de structure) : *la programmation d'un extrant futur sur la base d'une boucle ouverte de rétromettance entre la situation présente du sujet (l'en soi) et la mémoire actuelle d'une relation passé (le pour soi).* A. Wilden (1972, p. 97), à qui nous empruntons ce commentaire [1], l'interprétait de façon plus générale pour imager le processus *d'élaboration des projets* (cf. chap. 6, p. 135). Mais, cette interprétation ne nous dit rien quant aux modalités du *processus d'improvisation* lui-même ; elle nous permet de mieux recenser les conditions de cette improvisation que J. March et H. Simon (1958-1971, p. 177) appelleront les *occasions d'innover :*

1. En l'extrayant arbitrairement de son contexte, qui est celui d'une élucidation du concept de projet dans la philosophie sartrienne. Je ne crois pas pourtant, ce faisant, trahir l'esprit de son développement.

expliquer les occasions d'innover, c'est expliquer pourquoi un schéma d'action considéré jusque-là comme satisfaisant certains critères cesse tout à coup de le faire.

L'examen du processus innovateur lui-même nous renvoie à l'évaluation de la *capacité imaginative* du système, capacité que nous ne savons encore que bien peu modéliser, sans être pourtant totalement démunis grâce aux travaux des anthropologues et surtout de J. Piaget en psychologie génétique (cf. chap. 6, p. 144).

— Régulation et adaptation sont des morphostases

Ces références nous renvoient à celles que suggère A. Wilden (1972, p. 354) Pour typifier cette phase 2 de l'histoire d'un Système Général : ses phases 1, ses *homéostases* peuvent en effet s'interpréter dans le concept plus général d'une *morphostase* caractérisée par la *permanence de la structure et l'élaboration de programmes structurés* (p. 355).

Dans ce cadre, les phases 2 qui *rythment* en quelque sorte les phases z peuvent être définies comme des *homéorhèses,* terme qui fut proposé par le biologiste Waddington en 1939, pour caractériser l'équilibration (avec apprentissage) des flux processés par un système (cf. en particulier la correspondance Waddington-Thom *in* R. Thom, 1974, p. 274).

A. Wilden propose d'affiner la distinction en faisant apparaître le cas important que nous n'avons pu détailler ici, d'une adaptation par changement non seulement de programme mais aussi de *codage informationnel,* sans que soient pourtant modifiés les normes ou projets ni la structure : *l'homéogénèse* nous introduira à l'équilibration par *reproduction* structurellement invariante, n'affectant en rien les projets du système (*le remplacement d'une structure par une structure homologue,* A. Wilden, 1972, p. 355).

Autre image, féconde aussi pour aider le modélisateur à différencier la stabilité *régulée* de la stabilité *adaptative* dans sa représentation de l'objet : la *régulation est une adaptation sans mémoire, sans trace :* ainsi le poisson dans l'eau ne laisse-t-il aucun sillage (cf. K. Berrien, 1968, p. 40).

Phase 3 : l'adaptation structurelle

La *phase 3* de cette histoire artificielle des stabilités successives de l'objet modélisé est celle où, rassuré quant à ses capacités à

s'adapter sous la pression de l'événement environnemental, il prend à son tour l'initiative vis-à-vis des processus sur et dans lesquels il intervient, en modifiant ses projets.

Cette modification de la règle du jeu n'entraîne, pas nécessairement la mort de l'objet et la naissance d'un nouvel objet dès que nous pouvons faire l'hypothèse qu'elle a été décidée par le système de finalisation que nous lui avons associé (un riche qui décide d'être pauvre, et qui, ce faisant, bouleverse habituellement son système de valeur, ne perd pas nécessairement son identité pour autant !). Cette hypothèse impose explicitement que nous reconnaissions le système représentant l'objet comme ouvert : *en d'autres termes, les systèmes ouverts (au moins aux informations) sont essentiellement ceux qui sont capables de construire..., sous certaines contraintes, leur propre projet d'intervention sur un environnement, une fois qu'ils ont décidé qu'il est « autre » qu'eux-mêmes* (A. Wilden, 1972, p. 359)

Le pilotage de ce changement de projets va alors requérir une nouvelle forme de mobilisation des processeurs du système ; ce n'est plus seulement leur connexion ou leur niveau d'activité qui sont susceptibles d'assurer l'équilibration du système par rapport à ses projets : l'exercice de *nouveaux types d'intervention,* même dans un environnement perçu comme stable par rapport au système (puisque celui-ci disposait des programmes de régulation correspondant aux éventuelles fluctuations des intrants), nécessite de *nouveaux processeurs* (ce que J. Piaget appelait : *des structures plus vastes,* cf. p. 249).

L'adaptation aux nouvelles finalités ne peut plus se faire par programme. Il faut représenter quelques *transformations structurelles* au sein du système pour pouvoir rendre compte des nouveaux types de stabilités que l'on anticipe ou que l'on observe dans le comportement du système. Le système passe d'une *adaptation par programme* (ou *adaptation fonctionnelle*) à une *adaptation structurelle.* L'innovation adaptatrice ne peut plus puiser ici sur les réserves de la structure établie pour satisfaire les projets antérieurs, ni sur les réserves de programmes que lui livrait son aptitude à l'apprentissage. Il lui faut importer de nouvelles *ressources,* et ce faisant, générer (imaginer) de nouveaux programmes. Ce qui nous conduit à différencier dans les intrants-extrants du système une famille particulière de ressources qu'il processera de façon nécessairement spécifique : les ressources (ou les *variables*) *de structures.*

— *Les structures aussi varient*

Il aurait peut-être été souhaitable de faire apparaître plutôt dans l'exposé de la théorie cette différenciation essentielle et pourtant peu

familière. Peut-être étions-nous inconsciemment inhibés par ce postulat tacite de la modélisation que rappellent P. Tabatoni et P. Jarnioux (1975, p. 178) : *Le terme de structure implique l'idée de* stabilité. *Le type particulier de relations existant au sein d'un ensemble, son* organisation *en d'autres termes, suppose l'existence d'un cadre stable échappant aux fluctuations de trop forte amplitude. C'est cette idée qu'exprime un auteur comme Ashby lorsqu'il écrit : « Bien que le système traverse une série de changements, il y a quelque part quelque chose qui ne change pas : la structure. » La même idée est exprimée par Buckley lorsqu'il déclare : « La persistance d'un système adaptatif requiert comme une condition essentielle le maintien des variables essentielles du système »* [1]. C'est pourtant ce postulat qu'il nous faut maintenant remettre en question, ce dont Buckley avait d'ailleurs l'intuition lorsqu'il appelait *variable* — même essentielle — cet invariant qu'était pour lui la structure !

Il nous faut pourtant revenir à notre unique point fixe : l'invariance réside dans la permanence de l'identité que le Système de Représentation attribue à l'objet qu'il représente ; si l'hypothèse d'une invariance de la structure paramétrée (donc de l'organisation) est longtemps commode, elle ne l'est pas toujours. Elle devient même un handicap inacceptable dès lors que nous voulons rendre compte de l'aptitude d'un système à s'adapter à de nouvelles stabilités par rapport à de nouvelles finalités.

Si nous voulons rendre compte de cette aptitude dans nos systémographies des objets sociaux et des objets socio-techniques, il nous faut considérer que *les structures aussi varient* : autrement dit que le système reçoit et restitue aux processus, dans lesquels il intervient, des variables structurelles. Cette hypothèse n'est pas aussi nouvelle ou iconoclaste que d'aucuns le penseront : la représentation des systèmes-entreprise par la séquence de leur *bilan comptable* repose sur cette seule considération ; négligeant les *variables d'activité* (réduite à la seule ligne *résultat d'exploitation*), les bilans détaillent une représentation (hélas tristement appauvrie !) de la *structure* tenue pour variable puisque l'on considérera ces bilans dans leurs *variations* d'une période sur l'autre.

La représentation des flux *de structure*, donc celle de *l'évolution structurelle de l'objet* nécessitera un certain nombre de développements spécifiques auxquels sera consacrée la dernière partie de cet ouvrage. Nous devons ici l'introduire par deux considérations qui nous permettront de mieux cerner le concept d'équilibration par adaptation structurelle.

---

1. Les citations d'Ashby et de Buckley sont empruntées à Ch. ROIG (1970, p. 90 et 91) ; nous pourrions utilement citer plus longuement son développement sur la notion d'invariance en analyse de système, qui a le mérite de prendre en compte les contributions importantes de T. Parson (dont Buckley soulignait la contradiction lorsqu'il tenait simultanément la structure du système comme un agent d'équilibre et un agent de changement) et de K. Deutsch (qui proposait de considérer la structure comme changeant si lentement qu'elle peut être traitée comme constante).

— Variables de structures et systèmes de maintenance

La modélisation des intrants et des extrants qui à chaque instant caractérisent le comportement du système pourra toujours *différencier deux familles de flux : les flux d'activité* que B. Gross (1966, p. 180) caractérisera en les désignant *variables d'activité ou variables de performante et le flux de structure, caractérisé par les variables de structures, ces dernières pouvant être considérées comme relevant de processus lents et de longue durée, alors que les premières relèveront plus habituellement de processus rapides et de plus courte durée* (B. Gross, 1966, p. 181).

Peut-être faut-il aussi attribuer au pouvoir inhibiteur de l'hypothèse de l'invariance structurelle la quasi-indifférence de la plupart des ingénieurs en science sociale, entre 1966 et 1976, au modèle pourtant explicite et riche que B. Gross donne de l'objet social interprété par un Système Général, modèle que l'on peut légitimement présenter comme la première systémographie satisfaisante qui ait été faite d'une économie nationale. Convenons d'ailleurs que les autres disciplines ne furent guère plus attentives à cette contribution malgré son actualité politique : B. Gross développe son modèle pour permettre une identification des états successifs d'un système-Nation par celle des *indicateurs sociaux* qui peuvent les caractériser !

La modélisation des flux de structure est en général facilitée par la conceptualisation d'un *sous-système de maintenance* au sein du système opérant (cf. le système logistique de M'Pherson présenté au chap. 8, p. 173).

Il est en effet souvent commode de différencier l'activité spécifique de processement des variables de structure (et donc de pilotage du flux structurel), ce qui conduit à préciser une des activités de *coordination* essentielle qu'assure le système de pilotage ; cette différenciation au sein du système opérant n'entraîne pas *ipso facto* une différenciation correspondante au sein du système de pilotage : le pilotage d'un projet tient souvent, pour l'essentiel, à une coordination des flux d'activité et des flux de structures, les derniers apportant et maintenant les processeurs qui traiteront les premiers. Cette coordination est en général assurée de façon plus aisée lorsqu'elle n'est pas compliquée par la coordination secondaire de divers processeurs décisionnels trop spécialisés, les uns à la gestion des flux d'activité, les autres à la gestion des flux de structure. Cet examen permet quelquefois de préciser de façon plus spécifique la modélisation du système de pilotage (cf. chap. 8, p. 184).

Phase 4 : de la morphostase à la morphogenèse

L'examen de la *phase 4* de notre référentiel de l'histoire des équilibrations d'un Système Général... changeant de projets dans des environnements changeants... nous fait sortir des limites de notre épure *synchronique !* Il nous accule en effet à la représentation de l'évolution de la structure... et pour cela, *la notion de structure n'est plus suffisante : il est nécessaire de faire intervenir, en définitive, la notion de système !* (P. Delattre, 1971, p. 136). C'est à cette *intervention* que l'on consacrera la dernière partie de cet ouvrage par les définitions du *Système Général, image de l'objet structuré évoluant dans le temps* (cf. chap. 10, 11 et 12).

Il était nécessaire auparavant de pousser à l'extrême les interprétations qu'autorisaient nos modélisations synchrones de l'objet, pour mieux mettre en évidence leur *articulation essentielle* avec les modélisations *diachronies : l'équilibration,* conclut J. Piaget (1975, p. 46), *constitue un processus de dépassement autant que de stabilisation, réunissant de façon indissociable les constructions* (diachroniques) *et les compensations* (synchroniques)... *car pour qu'à la fois le tout conserve les parties et réciproquement lors de chaque modification, il faut bien qu'il y ait simultanément production et conservation* [1]. De façon indissociable.

— La stabilité s'interprète par rapport aux finalités

Cette discussion des formes et des conditions de l'équilibration du Système Général impliquait une hypothèse tacite, et communément acceptée..., qui mérite pourtant *l'étonnement* du modélisateur : quelle que soit la façon dont on la définit, la *stabilité n'est interprétable que par rapport à quelque chose.* Dire qu'un système est stable, parce que l'on peut modéliser deux de ses comportements consécutifs et les considérer comme superposables, implique encore que l'on fasse une hypothèse les critères de superposabilité ! Lorsque J. Piaget (1975, p. 9) parle *d'équilibration majorante* en la définissant comme la *formation d'un « meilleur » équilibre,* il faut qu'il postule quelques critères pour évaluer ce *meilleur :* par rapport à quoi ?

---

1. La citation est extraite de son contexte, qui est celui de l'équilibration des seules structures cognitives. On remarquera que J. Piaget persiste à parler de structure cognitive et non de système cognitif : toute l'introduction de cet ouvrage accuse le poids de l'hypothèque causaliste dans la formulation strictement structuraliste telle que nous l'avons succinctement présentée dans ses rapports avec le paradigme systémique (cf. chap. 2, p. 50).

La réponse, dans le cadre que nous nous sommes construit, tient en apparence en peu de mots : *le système s'équilibre par rapport à ses projets,* par rapport à ses finalités. L'équilibration peut s'interpréter comme *l'intervention finalisée du système sur et dans son environnement ;* c'est par rapport à ses projets que nous convenons d'interpréter les comportements du Système Général, aussi erratiques soient-ils en apparence : cette intervention sur ces comportements constitue précisément l'équilibration du système !

Nous retrouvons sans surprise à ce stade la même définition de *l'objet structuré* que celle que nous avions reconnue au terme de notre examen de *l'objet actif* (cf. chap. 6, p. 130). L'image de l'itinéraire de la fourmi transportant quelque graine au travers d'un terrain tourmenté, que propose H. Simon 1969-1974 p. 39), est aussi l'image d'une équilibration du « système fourmi » : il se modélise par rapport à son projet : transporter la graine dans son trou. Sans hypothèse sur ce projet, le modèle de son itinéraire (de son équilibration) est quasi indescriptible.

C'est donc par rapport aux projets du système et non par rapport à une stabilité observable que régulation, adaptation et plus généralement équilibration peuvent être interprétables. La stabilité visible n'intéresse le modélisateur que dans la mesure où elle témoigne de la satisfaction, même fugace, de l'une au moins des finalités qu'il a attribuées à l'objet considéré. Il fera alors l'hypothèse que l'objet lui aussi définit ainsi son *idéal de stabilité :* non par *l'invariance de sa structure,* mais la *satisfaction permanente de ses projets.* L'hypothèse téléologique sur laquelle se fonde le paradigme systémique s'explicite ici sans ambiguïté. Cette interprétation va conduire à identifier deux concepts qui vont s'avérer essentiels en systémographie.

— La performance : distance par rapport à la stabilité finale

Le concept de *performance : l'observation* serait presque triviale si un long passé cartésien n'avait obéré la définition du modèle de mesure de la performance d'un objet de façon dramatique ; le remarquable chapitre que C. W. Churchman (1968-1974) consacre au procès sans appel de la mesure par *l'efficience* (ou par *l'efficacité* dans bien des traductions... légitimes du mot anglais *efficiency*) devrait être médité, non seulement par tous les enfants de toutes les écoles, mais aussi par tous les ingénieurs, contrôleurs de gestion et fonctionnaires qui se représentent toujours le monde réel comme un modèle qu'il serait possible de gérer d'une façon optimale : la plus efficace (le *mythe du* one best way, selon M. Crozier, cf. chap. 1, p. 38).

L'efficience ou l'efficacité ou le rendement, mesure unique ou principale de la performance d'un objet quelconque, s'entendent par

rapport au processement qu'il assure et non par rapport aux projets qu'on lui attribue (même pour les plus déterminés des causalistes, c'est encore attribuer un unique projet à un veau que de le considérer dans le processus qui fera de lui un bœuf) : une mise en *rapport,* quelles qu'en soient les modalités, de variables d'extrants et de variables d'intrants.

Si l'on peut dire que l'extrant est fonction (au sens mathématique) de l'intrant, on sera dans une situation limite séduisante, où le projet du système sera d'exercer la *fonction* ou la loi qui 1e fonde. Si l'on ne peut pas le dire, il arrivera souvent hélas que, par commodité, on continue à parler encore de fonction intrant-extrant... et que l'on conserve ainsi tacitement le modèle de mesure de performance qui aurait été significatif si... !

Le phénomène semble aggravé par le fait que dans la littérature anglo-saxonne, en sciences humaines en particulier, *function* signifie... selon le contexte, processus... ou intention ! Dire d'un objet qu'il est *fonctionnel,* par exemple, ce n'est pas dire qu'il fonctionne bien ou efficacement, c'est dire que son comportement est adapté à ses projets ! C'est précisément pour disposer d'une batterie d'évaluateurs de ces adaptations (et plus généralement de ces équilibrations) que le modélisateur doit fonder *ses définitions des performances du système sur la mise en* rapport *des comportements observés ou anticipés et des projets ou, finalités de ce système.* Fait-il *effectivement* ce qu'il veut faire, quitte à ne pas le faire *efficacement ?* Pour illustrer l'argument, on pourrait volontiers proposer de généraliser la mesure des performances passant des seules mesures de l'efficacité à des mesures de *l'effectivité.* Le concept est encore relativement nouveau, bien qu'il ait déjà été partiellement annexé par les logiciens (cf. la thèse de Church sur les fonctions récursives). Il permettrait de rendre compte d'une dialectique fondamentale qu'exprime la langue anglaise par l'opposition *efficiency-effectiveness :* efficacité *versus* effectivité.

On a déjà cité l'excellente illustration de cette interprétation que propose B. Gross (1966), dans sa définition des indicateurs sociaux. Elle confirme une conclusion que nous avions déjà rencontrée : évaluer les performances d'un système c'est toujours *identifier les projets* (... bien plus qu'expliquer son fonctionnement !), par rapport auxquels il exerce une équilibration (cf. chap. 8, p, 184).

— La variété, richesse de la structure

Le concept de *variété :* la définition initiale de l'état d'un système par sa *reproductibilité,* et de la stabilité par la superposition de deux états consécutifs, conduit à considérer l'intérêt d'un *décompte* des états stables différents qu'un objet est susceptible d'exhiber : R. Ashby (1956, p. 124) a proposé d'appeler *variété* ce nombre de

comportements différents (on dira, par exemple, que la variété de ce système automobile est de cinq si l'on considère qu'il peut exhiber cinq comportements différents : en première, seconde, troisième, en marche arrière et au point mort).

Van Court Hare (1967, 1972, p. 147) a introduit le concept conjoint et important de *taux de variété :* la variété qu'un système est susceptible d'exhiber dans un intervalle de temps donné (les exemples sont nombreux : ainsi, un groupe de guérilleros aura un taux de variété élevé comparé à celui de la lourde armée régulière qui l'affronte : bien que cette dernière ait une grande variété, elle ne peut pas mettre en couvre l'un quelconque de ses nombreux comportements possibles en moins d'une journée !).

Ces deux indicateurs de la *richesse* d'un système vont s'avérer fort aisés à manipuler : ils permettront, en particulier, de *repérer,* les uns par rapport aux autres, des systèmes représentant des objets différents, et surtout, de repérer les étapes de *l'évolution* d'un Système Général dans le temps. Ils conduiront, en outre, à la formulation du célèbre *principe de la variété requise* qui permettra, sous certaines conditions, d'évaluer et d'orienter l'équilibration et l'évolution d'un Système Général (cf. chap. 11, p. 246).

L'examen de l'histoire des stabilités de l'objet modélisé nous a conduit à baliser l'itinéraire de la systémographie par un certain nombre de repères qui associent la plupart des concepts de base sur lesquels la théorie du Système Général s'édifie progressivement. Cet examen nous conduit aussi à une nouvelle exploration : l'équilibration s'interprète aussi dans l'évolution : l'objet *actif, structuré, s'il s'équilibre, évolue.* Nos modes de représentation doivent aussi en rendre compte. Le troisième volet de la théorie peut maintenant être déployé.

*
* *

▶ Relecture

Les développements récents de *la théorie de l'autonomie* et de la *théorie de l'organisation* que l'on a évoqués lors de la relecture du chapitre 8 conduiraient sans doute à une présentation plus ordonnée de la notion d'équilibration d'un Système Général et des notions dérivées (régulation, adaptation, apprentissage ; homéostase, homéorhèse, homéostate, morphostase, morphogenèse, etc.).

Les modes traditionnels d'exposition par une structure fixe que l'on fait ensuite varier sous l'effet de perturbations puis de transformations internes se prêtent en effet assez mal à la mise en valeur du caractère irréversible des modifications, puis des transformations, des formes de l'organisation d'un système au fil du temps.

Si l'on se proposait, par exemple, de substituer systématiquement dans ce chapitre (et plus généralement dans ce livre), à l'expression *structure*, l'expression *forme suffisamment stable* (suffisamment : pour qu'un modélisateur ait *le temps* de la modéliser), on serait conduit à organiser la présentation de cette conception historique de l'organisation de façon sans doute plus ramassée et plus économique.

L'entreprise serait sans doute encore prématurée, il est vrai, tant, d'une discipline à l'autre, des concepts qui semblent identiques sont identifiés de façon différente. Les économistes, par exemple, devraient être reconnaissants à F. Perroux d'avoir su importer dans leur culture le concept *d'équilibration* forgé par J. Piaget pour décrire la psychologie cognitive [1]. Mais ils ont encore bien des difficultés à se débarrasser du concept de *déséquilibre* malgré ses ambiguïtés théoriques et pratiques. Jacques Paillard a pu parler du *piège des consécrations sémantiques* (qu'il associe judicieusement au *piège des niveaux d'organisation* en mettant en valeur les différences sous-jacentes aux termes *d'ontogenèse, d'organogenèse, d'embryogenèse, de morphogenèse* en les référant aux propriétés *de plasticité, de malléabilité, de déformabilité irréversible, d'accommodation adaptative, d'élasticité, de connectivité, de variabilité, de flexibilité, de vicariance* et plus généralement de stabilité (déformable ou non,

---

1. L'avant-propos de F. PERROUX, précédant l'introduction de J. PUGET, au volume *L'idée de régulation dans les sciences* (A. LICHNEROWICZ *et al.*, 1977) mettait très clairement cet argument en valeur. Est-ce sous la pression du milieu ambiant que F. PERROUX a, depuis, presque abandonné cette référence au concept d'équilibration ? Le mot n'apparaît pratiquement pas dans sa belle synthèse : *Pour une philosophie du nouveau développement* (1982), où il semble lui préférer *équilibrage*. Peut-être préfère-t-il condenser cette représentation du développement dans le temps pour le concept central d'*organisation*, dont il fait le pivot de sa théorie.

réversible ou non, probabiliste ou non) et d'ultra ou de multistabilité [1]. II semble pourtant qu'une sorte de présynthèse puisse être proposée en associant deux constructions théoriques dont on n'avait pas perçu initialement la fécondité : celle reformulée par « l'école de Palo-Alto », qui repère l'équilibration par son résultat, et celle définie par J. Piaget et son école, qui la repère par son processus.

La distinction des changements de « type 1 » et de « type 2 » proposée par les anthropologues et les psychiatres de l'école de Palo-A1to [2] est d'autant plus intelligible qu'elle se réfère à La théorie des types logiques de Russel et Whitehead : une classe d'éléments n'est pas réductible à un élément de cette classe. Elle recouvre donc les distinctions classiques entre le niveau et le métaniveau, entre le synchronique et le diachronique, entre la cinématique ! (étude de la trajectoire de l'objet dans le temps en fonction des forces) et la dynamique (étude de la modification des formes de l'objet dans le temps en fonction des forces), entre le fonctionnel (ou l'homéogénétique) et le génétique (ou le morphogénétique).

La distinction piagétienne entre les changements par accommodation et par assimilation est moins familière malgré la diversité des représentations qu'en a proposé Jean Piaget [3] : elle ne se réduit pas, en effet, comme on l'avait suggéré (p. 196), à la distinction d'un autoréglage d'un système achevé et d'une morphogenèse embryologique révélant la construction d'un nouveau sous-système : elle implique une explicitation de l'intervention du modélisateur qui modifie le phénomène modélisé en le modélisant : on n'a pas encore — semble-t-il — épuisé la fécondité de cette distinction piagétienne entre l'accommodation — qui traduit une modification interne du sujet observant pour s'adapter à l'objet observé (réaction à une sollicitation du milieu) — et l'assimilation — qui exprime une transformation de l'objet observé par le sujet observant (une action sur le milieu).

Si l'on croise ces deux typologies, on aboutit à une autre présentation des modes d'équilibration en modélisation systémique qui semble devoir s'adapter aisément au sein du cadre proposé par la théorie de l'auto-organisation :

---

1 J. PAILLARD, Réflexions sur l'usage du concept de plasticité en neurobiologie, *Journal de Psychologie,* n° 1, janvier-mars 1976, p. 3-47.

2. Le texte le plus significatif est sans doute celui de P. WATZLAWICK *et al.* (1975), *Changements, paradoxes et psychothérapie,* titre qui traduit bien mal le titre original en langue anglaise : *Changes, principles of problem formation and problem resolution.* La célèbre théorie de la *double contrainte* de G. BATESON repose sur cette typologie (voir *Vers une écologie de d'esprit,* 1972-1980).

3. On en trouve une présentation synthétique dans une étude de Y. HATWELL, « À propos des notions d'assimilation et d'accommodation dans les processus cognitifs », dans le recueil collectif *Psychologie et épistémologie génétique,* 1966 (p. 27) (B. INHELDER (Ed.)/thèmes piagétiens).

<table>
<tr><th colspan="2" rowspan="2">Les modes d'équilibration</th><th colspan="2">Changement décrit par le processus</th></tr>
<tr><th>Accommodation (réaction au milieu)</th><th>Assimilation (action sur le milieu)</th></tr>
<tr><td rowspan="2">Changement décrit par le résultat</td><td>Changement de type I (cinématique ou synchronique)</td><td>Homéostase</td><td>Homéogenèse</td></tr>
<tr><td>Changement de type II (dynamique ou diachronique)</td><td>Homéorhèse</td><td>Morphogenèse</td></tr>
</table>

C'est, semble-t-il, à cet élargissement de la notion d'équilibration que nous invitait le Dr R. Dubos dans un des derniers articles qu'il ait publiés, dans lequel il insistait sur l'absence de *fixité du milieu intérieur* (fixité postulée par Claude Bernard, le père de la conception homéostatique de l'équilibration) : *Or je pense que cela ne se produit jamais, rigoureusement jamais* [1]. Il n'est pas indifférent de souligner ici le fait que cet article ait été publié par une revue intitulée *Co-Évolution.* Ce concept de *Co-Évolution* est sans doute encore incomplètement maîtrisé, mais la fécondité de la métaphore qu'il suggère (le système ne s'équilibre pas par rapport à un environnement, il évolue *avec lui : interaction* dialectique permanente : en le faisant évoluer, il évolue lui-même, et l'évolution de cet environnement est affectée par son intervention sur les systèmes dont il est le substrat), cette interaction permanente et réciproque de *la partie et du tout* semble pouvoir être correctement formalisée par une *théorie de l'holonomie* (duale de — ou incluse dans — la théorie de l'autonomie que l'on a évoquée au chapitre précédent), encore embryonnaire, mais que l'on peut inviter le lecteur pensif à explorer s'il souhaite progresser plus avant [2].

---

1. R. Dubos, Il va falloir échapper à Claude Bernard, dans *Co-Évolution,* n° 6, Paris, automne 1981, p. 28-32.

2. « On est donc conduit à envisager l'origine de l'information dans le cadre d'une co-évolution où des sous-systèmes imbriqués, interconnectés, rétroagissant les uns sur les autres, évoluent de concert... dans le cadre hologramatique... », G. Pinson (1982). (Cf. dans J.-L. Le Moigne et R. Vallee, les renouvellements contemporains de la théorie de l'information, Structure hologramatique de la théorie de l'information, une version révisée sous le titre *Modèle hologramatique et théorie génétique de l'information.*)

QUATRIEME PARTIE

le système général, modèle de l'objet en ÉVOLUTION

« La dynamique n'est rien d'autre qu'une théorie du vieillissement. »

(R. THOM, 1976.)

« La théorie complexe du système transforme le système théorique qui la forme. »

(E. MORIN, 1977, t. 1.)

« À l'idée d'organisation se lie indissolublement celle de son histoire. »

(F. JACOB, 1970.)

« Quoique cet ordinateur ait calculé, cet ordinateur a changé. C'est la notion même d'une machine de Turing ; c'est la notion d'une machine non triviale ; c'est la notion d'un automate général. »

(H. von FOERSTER, 1981.)

« Toute chose naît de toute chose et toute chose redevient toute chose. »

(ANAXAGORE.)

« Dans tout mon univers, je n'ai rencontré aucune loi de la nature, immuable et inexorable. Cet univers ne nous offre que des relations changeantes qui sont parfois perçues comme des lois par des consciences à courte vue. »

(Frank HERBERT, 1982.)

« Severin, qui n'était certes pas un bon logicien, réfléchissait cependant, selon sa propre expérience. »

(Umberto ECO, 1982.)

« Cette mutation radicale de finalité ne peut être conçue que comme un affranchissement des finalités biologiques et « préhistoriques » : obsession de la production et de la reproduction, de la prolifération, de la concurrence, de l'exploitation, de l'inégalité. Mais ce palier de finalité, que peut-il signifier pour nous ?... Nos langages sont langages d'hier. Qui parlera le nouveau langage et en quel lieu ? »

(François MEYER 1974.)

CHAPITRE 10

		A	S	E
3	**F**	4	**7**	**10**
2	**O**	5	8	11
1	**G**	6	9	12

la dynamique du système général :

la chronique de la fonction d'état

1. Cinématique et dynamique du Système Général

L'objet structuré, stable donc, évolue irréversiblement dans le temps. Cette évolution temporelle de la structure doit, elle aussi, pouvoir être décrite, anticipée au besoin. La proposition est audacieuse ; prise à la lettre, sa portée métaphysique pourra indigner. Nécessité ou projet l'emporterait donc, toujours sur hasard ou liberté, autorisant la modélisation de l'avenir ? Ne pas répondre à cette question n'interdit pas de la poser : cernant mieux ses contours, on pourra peut-être aider le modélisateur à prendre en compte la dualité fondamentale de sa démarche, que rappelle R. Thom (1972, p. 19) : *tout modèle comporte* a priori *deux parties : une* cinématique *dont l'objet est de paramétrer les formes ou les états du processus considéré ; une* dynamique, *dont l'objet est de décrire l'évolution temporelle entre ces formes.* Certes, ajoute-t-il, *il est tout à fait exceptionnel qu'un processus naturel admette une formalisation globale..., par contre des formalisations locales sont possibles...* (puis, p. 24). *Alors l'interprétation dynamique locale des singularités de la morphogenèse reste possible et utile ; c'est en tout cas un préliminaire indispensable pour définir la cinématique du modèle... on en aura... une intelligence locale bien améliorée du processus.*

Ce préliminaire n'était sans doute pas familier jusqu'ici aux modélisateurs qui se contraignaient à ne décrire que des cinématiques quantifiables (que, par un abus de langage bien significatif de leur mauvaise conscience, ils baptisaient *dynamique des systèmes !*

Le label dû à J. Forrester [1] est tellement ambigu que je proposerai volontiers pour ma part de lui substituer : cinématique *des systèmes.* La probité intellectuelle n'est pas humiliante dès que passent les engouements).

Le référentiel de la fonction d'état

Notre discussion de la représentation de la cinématique du Système Général nous avait d'ailleurs conduits à exprimer cette dualité, dès que, investiguant le concept de stabilité structurelle, nous avions été conduits à fouiller celui d'équilibration en le couplant à celui de relation « finalité/environnement ». Lorsque les finalités évoluent en se transformant (que les agents de ces transformations soient internes ou externes au Système Général), les équilibrations vont aussi évoluer : on appellera précisément évolution du Système Général *la chronique de ces équilibrations successives.*

Pour décrire cette chronique, les thermodynamiciens du siècle dernier ont introduit un concept qui s'est révélé à l'expérience d'une grande généralité : *la fonction d'état* d'un système permet de rendre compte de sa dynamique structurelle en dualité avec son *équation d'état* (cf. chap. 7) qui rendait compte de sa cinématique. Alors que l'équation d'état vise à décrire le comportement du système maintenant sa stabilité structurelle par prévention (*un principe de morphostatisme,* dira A. Wilden, 1971, p. 331), la fonction d'état exprimera le comportement du système changeant sa structure pour maintenir son identité (donc les nouvelles relations finalités/environnement qu'il se propose : *un principe de sensibilité à l'événement, un principe de morphogenèse,* dira A. Wilden).

L'équation d'état supposait disponible le catalogue des programmes de paramétrisation d'une structure donnée, qui servait de charpente à la description de la trajectoire du Système Général. La fonction d'état structurel implique un changement de référentiel. La structure est variable, processée par les champs d'intensité variables qui affectent le système. Le référentiel devient l'environnement tapissé de *champs morphogénétiques* (R. Thom, 1972, p. 61). Il nous faut faire l'hypothèse d'une *indépendance du substrat des formes et de la nature des forces qui les créent* (R. Thom, 1972, p. 24), hypothèse peu familière à l'expérimentateur (implicite pourtant dès notre définition du Système Général, arbitrairement identifié par ses projets au sein d'un réseau de processeurs) (cf. chap. 6) : que l'on parle

---

1. On a présenté, succinctement (chap. 5, p. 120) le modèle de J. Forrester, qui a eu une importance historique considérable, et qui demeure fécond dès lors que ses limites sont loyalement entendues. On peut craindre que le passage de *La dynamique industrielle* (titre du premier ouvrage de J. FORRESTER) à *La dynamique des systèmes* se fasse au prix d'une mystification parfois délibérée de la part de quelques disciples que n'étouffe pas la modestie intellectuelle.

d'environnement, de système englobant, de super système, de substrat *des* formes ou des forces, on n'échappe pas à la reconnaissance de ce référentiel nécessairement postulé par le Système de Représentation dès lors qu'il *reconnaît l'objet* qu'il modélise ([a]).

2. La fonction d'état d'un système fermé

Aussi n'est-il guère surprenant que la formalisation la plus élaborée... et la plus simple de la fonction d'état du Système Général dont nous disposions ait été forgée dans le cas limite mais simple, de l'environnement vide : le cas oh le système enfermé ; où, bien que structuré et structurellement stable, il ne fait rien dans rien. Le référentiel espace-temps traditionnel permet alors de repérer sans ambiguïté ni imprécision les positions et les formes successives non seulement de chacun des processeurs — nœuds du réseau structurant le système — mais aussi celles des objets processés par ces processeurs au sein de système fermé, en une ronde sans fin qu'image habituellement le mouvement brownien.

L'image de la marmite norvégienne suggérée par les thermodynamiciens traduit bien ce concept de système fermé dont un observateur extérieur sans dimension ni influence décrirait les comportements internes, les états structurels successifs. Dans cette enceinte parfaitement étanche, l'état initial sera par exemple décrit par la position et la vitesse relative de deux classes de molécules d'eau : une couche d'eau chaude au-dessus d'une couche d'eau froide. L'expérience commune, formalisée par l'extraordinaire « deuxième principe de la thermodynamique », nous autorise à augurer l'évolution de cette structure. Non seulement nous excluons que l'eau chaude devienne plus chaude et l'eau froide plus froide, les deux couches de molécules se spécialisant et se différenciant de plus en plus, mais nous retenons l'hypothèse directement inverse : nous prédisons que les couches d'eau chaude et d'eau froide s'homogénéiseront progressivement, devenant indifférentiables (un seul et unique état final) ; nous prédisons aussi que cette évolution de l'hétérogène ordonné vers l'homogène désordonné se fera irréversiblement, bien qu'à chaque instant nous puissions considérer que l'état atteint (une certaine distribution globale des molécules d'eau caractérisées par leur position et leur vitesse ou leur température) est suffisamment stable pour être décrit par un observateur extérieur. (Ainsi ces photos instantanées des courants d'eau chaude et froide dans un estuaire que l'on peut prendre d'un satellite.)

La prévision de la fonction d'état par réduction

L'expérience précédait sans doute la théorie, mais une fois théorie formulée, il fallait convenir que nous disposions d'une hypothèse modélisatrice étonnamment générale et simple : *la structure d'équilibre vers laquelle tend le système peut dans ce cas* être prévue exactement *à partir de la connaissance de la seule structure relationnelle, à condition bien entendu que cette structure relationnelle ne soit pas passible d'extension.* P. Delattre (1971, p. 102 [1]) proposera d'appeler *prévision par réduction* cette hypothèse opératoire qui fascinera plus d'un penseur, physicien ou métaphysicien. Élargie à l'échelle de l'univers, que d'aucuns accepteront de considérer comme un système fermé dans un environnement vide, elle incite à prédire son évolution structurelle globale, s'appauvrissant d'état stable en état stable, vers un état final unique et uniforme, et ceci irréversiblement.

Les deux aspects opposés de l'évolution

D'autres récuseront l'interprétation en se référant à des expériences différentes. I. Prigogine a brillamment campé le débat ; provoqué par cette folle ambition d'une prévision de l'évolution de l'objet, fût-il fermé : *c'est une circonstance très remarquable que la notion d'évolution se soit développée dans le courant du dix-neuvième siècle, à partir de deux points de vue manifestement opposés.*

En thermodynamique, le principe de Carnot-Clausius apparaît essentiellement comme une loi d'évolution exprimant une désorganisation continue, autrement dit, comme une loi de disparition des structures introduites par les conditions initiales.

En biologie, comme aussi en sociologie, la notion d'évolution apparaît au contraire comme étroitement associée à un accroissement d'organisation pouvant conduire à la création de structures de plus en plus complexes.

... Nul n'a mieux exprimé ce fait que le philosophe H. Bergson : « Plus profondément nous pénétrons l'analyse de la nature du temps, mieux nous comprenons que durée signifie invention, création de formes, élaboration continue de ce qui est absolument neuf »...

Comment réconcilier deux aspects aussi apparemment opposés de l'évolution ? (I. Prigogine et P. Glansdorf, 1971, p. 269). La

1. Trois mots soulignés par moi. Sur la structure relationnelle au sens de Delattre, voir chap. 7, p. 155 : on peut l'imager ici en parlant du graphe des influences mutuelles de toutes les molécules d'eau ou de la matrice de ce graphe, considérée à l'instant initial t_0 : $S(t_0)$.

réponse à une telle question n'est amorcée que depuis quelques années : c'est précisément à la théorie du Système Général que les chercheurs demandent un cadre interdisciplinaire assez large et assez résistant pour élaborer ces nouvelles synthèses. Dans l'immédiat *on peut utiliser à ce propos la terminologie classique des thermodynamiciens, même si celle-ci n'est habituellement utilisée que pour les systèmes matériels. L'extrapolation de ce langage aux systèmes abstraits est apparemment tout à fait possible, surtout si nous nous abstenons d'introduire la notion d'énergie, dont l'usage pour les systèmes non matériels est sujet à caution* [1] (P. Delattre, 1971, p. 105).

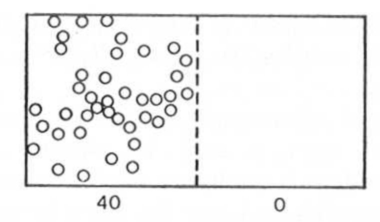
L'équirépartition : l'entropie maximale

La présentation du deuxième principe par le thermodynamicien I. Prigogine (1972, p. 549) légitime de façon très convaincante cette extrapolation. En la résumant succinctement, on introduira dans sa généralité la formulation de la *fonction d'état* du Système Général par laquelle peut se modéliser son évolution. *Prenons un exemple : considérons un récipient formé de deux parties identiques en communication l'une avec l'autre. Un raisonnement élémentaire montre que le nombre de manières dont nous pouvons repartir n molécules en deux groupes* n_1, n_2 *est donné par* $P = n\,!/n_1\,!,\ n_2\,!$ *Quels que soient les nombres* n_1, n_2 *dont nous partons à l'instant initial, nous pouvons nous attendre à ce que, pour n grand et au bout d'un temps suffisamment long, nous réalisions, à de petites fluctuations près, une situation d'équilibre correspondant à l'équipartition des molécules entre les deux compartiments* ($n_1 = n_2 = n/2$). *La figure 10.1 donne un exemple d'une distribution réalisée à l'aide d'une calculatrice électronique.*

Il est facile de vérifier que l'équipartition correspond à la valeur maximale de P. Au cours de cette évolution, P augmente... Le système évolue spontanément vers l'état d'entropie maximale.

C'est pour rendre compte de cette évolution du nombre *P* des *complexions* (ou des répartitions) des molécules possibles que *Boltzmann... par une intuition géniale... a rattaché l'entropie à P par la formule célèbre* $S = k \log P$. Nous disposons ainsi d'une formulation accessible et générale de la fonction d'état d'un Système

1. C. P. BRUTER (1976) ira plus loin et généralisera courageusement la notion d'énergie pour tous les objets à modéliser. Cf. chap. 12, p. 264.



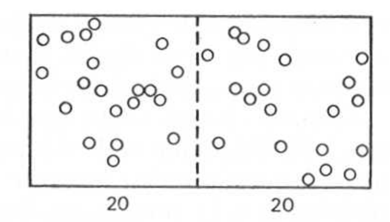


FIG. 10.1. — *Au fil de l'évolution du système fermé, l'entropie augmente : la distribution des particules évolue vers l'équirépartition. La légende de ce schéma dans l'article d'I. Prigogine dont il est extrait précise : « Ces figures obtenues à l'ordinateur montrent l'évolution vers une distribution uniforme d'un système de 40 particules en interaction faibles dans un récipient. Les particules sont initialement dans la moitié gauche du récipient (schéma « A ») et ont des vitesses aléatoires. Après un certain temps, elles occupent les positions indiquées dans le schéma « B »*

Général fermé. Cette fonction, que les physiciens appelleront entropie, *exprime par sa croissance la croissance du désordre moléculaire mesurée en terme de nombre de complexions P. Cette évolution efface l'effet de conditions initiales dont la symétrie serait « inférieure ».*

L'entropie : « la seule variable qui tienne compte de la structure cachée des systèmes » [1]

La croissance du nombre des complexions *P* des objets processé observables dans un système fermé traduit une tendance à l'uniformisation de la structure de ce système ; les processeurs élémentaires, ici les deux compartiments de l'enceinte, sont l'un et l'autre dans des états de plus en plus voisins lorsque *P* est grand. Quelle que soit la complexion que l'on photographie à un instant donné, elle est extraite d'un grand portefeuille d'arrangements possible. Le nombre de molécules *n* et le volume de l'enceinte étant limités, pour que *P* soit grand, il faut que les complexions possibles se *ressemblent* de plus en plus, ou encore que leurs différences mutuelles s'atténuent, au point de devenir imperceptibles.

L'irréversible croissance de la fonction d'état entropique d'un système fermé exprime cette *uniformisation* des états des acteurs,

1. Citation extraite de M. DODE (1965, p. 98). Les trop nombreuses définitions de l'entropie ont conduit à des confusions et à des joutes oratoires parfois stériles. C.-P. BRUTER propose une interprétation restrictive que publiera *Économie appliquée* : « Sur la notion d'entropie ».

intervenant dans la structure interne du système : la probabilité d'en rencontrer un dans un *état* différent des autres diminue. Il y a là une interprétation relativement contre-intuitive, qui est à la source de bien des contresens dans l'interprétation du deuxième principe (et plus encore dans celle de l'interprétation neg-entropique de l'information, cf. p. 227) : l'augmentation du nombre des complexions observables d'objets processés au sein d'un système fermé entraîne une équipotentialisation des divers processeurs interconnectés et par là même une uniformisation des états d'ensemble du système. Dans le schéma « *A* » de la figure 10.1, la différence de potentiel entre les deux compartiments est très accusée, et le système pourra présenter bien des états résultants différents, alors que le nombre d'arrangements spatiaux des objets processés est petit. À l'inverse, dans le schéma « *B* » le nombre de complexions est grand, mais les compartiments restent dans le même état... quelle que soit la complexion observée (on décrira l'état par l'intensité des débits intrants et extrants de chaque processeur, par exemple).

Entropie et variété :
deux mesures duales de la fonction d'état

Cette présentation de la fonction d'état d'un système fermé, dans une formulation légitimement généralisée à partir des concepts thermodynamiques, permet ainsi de relier quasi symétriquement *l'entropie* évaluée par rapport au nombre de complexions des objets processés au sein du système, à la variété (cf. chap. 9, p, 211) *évaluée* par rapport au nombre de comportements différents qu'est susceptible d'exhiber la structure du système (le nombre d'états) : la croissance uniformisante — et pour un système fermé, présumé inéluctable — de l'entropie jusqu'au niveau de l'équirépartition parfaite des objets processés au sein du système, correspond ainsi à une décroissance de la variété jusqu'à l'équilibration absolue, la stabilité parfaite : le système, totalement homogénéisé ne connaissant plus qu'un seul état possible, l'état d'entropie maximum ou de variété « un ».

Deux courbes simples récapitulent cette discussion des fondements de la fonction d'état d'un Système Général fermé :

— figure 10.2, celle qui rend compte du deuxième principe. Au fil du temps, l'entropie du système évolue de façon monotone croissante jusqu'à un maximum à partir duquel elle reste invariante ;

— figure 10.3, celle qui exprime la correspondance entre l'entropie et la variété d'un système à tout instant : l'entropie maximum correspondant au cas limite où le système ne sait plus exhiber qu'un seul état possible, une grande variété correspondant à une entropie sensiblement inférieure au maximum.

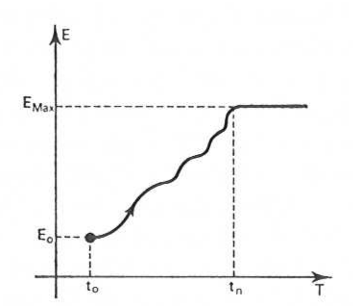


FIG. 10.2. — *La fonction entropie E d'un système fermé varie de façon monotone croissante au fil du temps T jusqu'à une valeur E_{max} qu'elle conserve alors irréversiblement.*

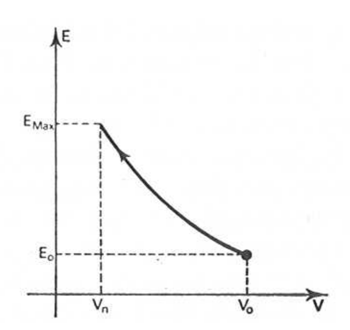


FIG. 10.3. — *La variété V d'un système est en correspondance biunivoque avec son entropie E. Plus l'entropie croît, plus la variété décroît.*

On ne dispose pas encore de métriques suffisamment générales pour exprimer quantitativement la fonction d'état dans sa généralité. Lorsque le système peut être considéré comme exclusivement énergétique, $E = k \log P$ s'exprime en erg/degré (ou en calorie/degré), la constante de Boltzmann, *k*, étant de 1,38 — 10^{-16}, le logarithme étant népérien (base *e*). S'il est exclusivement informationnel (un message), Shannon a proposé de l'exprimer en bits (sans dimension), *k* valant 1, le logarithme étant à base 2. L. Brilloin (1956 et 1964) a le premier amorcé la discussion de cette métrique généralisée en établissant une correspondance encore discutée par les thermodynamiciens entre la valorisation entropique d'un système énergétique et la valorisation neg-entropique d'un système informationnel. On aura l'occasion d'interpréter cette généralisation à la lumière des travaux des biophysiciens (cf. p. 225).

3. Ouvrir les systèmes : prévision par extension de l'évolution

La considération du système fermé était certes commode pour mieux identifier le concept de fonction d'état et pour nous proposer une hypothèse limite de prédiction de l'évolution structurelle de l'objet modélisé vers un état unique et stable. Mais elle était et demeure notoirement irréaliste. Quoi qu'en pensent les intégristes du cartésianisme, les objets susceptibles d'être légitimement modélisés par des systèmes fermés sont bien rares. Tout au plus peut-on, par

passage à la limite, considérer de petites plages dans la trajectoire d'un objet donné, au sein desquelles les simplifications de la fermeture permettraient d'amorcer une modélisation. Ce cas limite ne sera même plus admissible si l'on est fondé à identifier, parmi les acteurs intervenant dans le système, un générateur inépuisable de variété (ou d'entropie négative) apportant en permanence matière, énergie (le soleil ?) ou information (l'être humain ?).

La fonction d'entropie étendue da Prigogine [1]

Ce sont les biologistes qui les premiers identifièrent l'importance extrême de l'ouverture du Système Général pour la modélisation des objets vivants : L. von Bertalanffy formula d'abord vers 1930 une *théorie du système ouvert* (avant de la déployer après 1940 en une Théorie du Système Général (cf. chap. 2, p. 57))... parce que la remarquable et improbable équilibration permanente des systèmes vivants ne pouvait pas être interprétée comme résultant d'une évolution entropique croissante. II fut l'un des premiers à percevoir l'exceptionnelle importance de la généralisation du concept de fonction d'état qu'I. Prigogine allait proposer en 1947 (p. 16). *La variation d'entropie* (d'un système ouvert) *peut être scindée en deux parts. En désignant par* $d_e\, S$ *le, flux d'entropie dû aux échanges avec l'extérieur et par* $d_i\, S$ *la contribution due aux modifications intérieures du système, nous avons :*

$$dS = d_e\, S + d_i\, S.$$

L'accroissement d'entropie d_i*, S, dû aux modifications à l'intérieur du système n'est jamais négatif* (cf. le deuxième principe applicable à un système fermé).

Nous disposons ainsi d'une formalisation très générale et opérationnelle de la fonction d'état. Elle décrit toujours le nombre d'états structurels différents qu'un système donné est susceptible d'exhiber à un instant donné (évaluée, éventuellement par le nombre de complexions possibles des objets processés par le système et susceptibles d'être considérées à cet instant). Sa forme en fonction du temps n'est plus nécessairement monotone croissante. Elle variera en fonction du flux des importations d'entropie (négative ou positive) $d_e\, S$ que le système prélèvera sur son environnement. La nature de cette entropie négative est délicate à interpréter dans sa généralité, mais on pourra aisément considérer comme tel, tel flux de telle variable de structure, ou tel champ informationnel par lequel le système acquiert de nouveaux programmes qui *enrichiront* son organisation. De même on pourra observer qu'un système qui, bien qu'ouvert, n'importe rien, ne parviendra pas à assurer ses équilibrations instantanées. N'acquérant plus d'entropie négative, il ne pourra contrebalancer la

---

1. L'expression est de L. von BERTALANFFY, 1968, p. 144.

dégradation entropique $d_i\ S$ et verra donc croître irréversiblement son entropie et décroître sa variété jusqu'à un état final d'uniformité (... bureaucratique par exemple !).

Le premier principe de prévision par extension : Schrödinger

Cette généralisation de la fonction d'état permet au modélisateur de disposer d'un outil de *prévision par extension :* elle ne pourra certes *se faire que de proche en proche* (P. Delattre, 1971, p. 116). Mais elle nous permettra de différencier *l'équilibration* instantanée du système autour des stabilités structurelles disponibles à l'instant *t*, de son *évolution,* au fil de laquelle, par importation ou exportation d'entropie négative (ou de variété), l'organisation du système s'appauvrit, s'enrichit ou se stabilise. T. G. Windeknecht (1971, p. 60) proposera de parler d'évolution par *contraction,* par *expansion ou* par *stationnarité.* La littérature systémique préfère de plus en plus parler d'évolution par *variété décroissante, croissante ou stable,* selon la valeur des transactions structurelles du Système Général avec son environnement (cf. par ex. R. L. Ackoff, 1971, p. 667).

Cette construction permanente de la fonction d'état d'un système ouvert s'avère précieuse pour le concepteur de système. Elle conduit en effet à articuler l'interprétation de l'évolution prévisible d'un Système Général sur une première généralisation du deuxième principe que le physicien E. Schrödinger (1947) a proposé d'appeler « Le principe d'ordre à partir d'ordre » (*order from order principle*). L'abus du mot « ordre » par les physiciens et les biologistes, compte tenu de ses connotations trop multiples, incite à suggérer aujourd'hui une désignation moins ambiguë, par exemple : le *principe d'organisation par importation de variété* (le même mot ordre sert à désigner deux concepts parfaitement antagonistes dans deux phrases telles que : « l'ordre règne à Varsovie » et « le cerveau du mammifère est d'un ordre supérieur à celui de l'invertébré »).

Le deuxième principe de prévision par extension : Von Foerster

L'approfondissement des conditions de la prévision par extension de l'évolution structurelle d'un Système Général conduit progressivement à identifier quelques nouvelles formalisations. Certaines d'entre elles présentent déjà un caractère opérationnel si marqué qu'il est souhaitable de les mentionner ici, en complément du principe de Schrödinger. On veut surtout évoquer le principe dit « ordre à partir du bruit » (*order from noise*) formulé en 1960 par H. von Foerster (*in* M. C. Yovit et S. Cameron, 1960, p. 45) et remarquablement développé par H. Atlan (1972)… en suggérant à

nouveau de le désigner sous un label moins ambigu : *le principe d'organisation par disponibilité à l'événement* ([b]).

Il est intéressant tout d'abord par l'interprétation quasi métrique de la fonction d'état qu'il propose pour évaluer, puis pour prévoir, l'évolution structurelle d'un système. Depuis que C. Shannon a proposé de mesurer la quantité d'informations transmise par un message par une fonction *H* qu'il a lui-même présenté comme isomorphe de la fonction *S* de Boltzman à des considérations de signe près [1], *de nombreux auteurs ont cru tenir là une définition quantitative de la notion de complexité, ou même de degré d'organisation d'une structure* (H. Atlan, 1972, p. 231). Si l'on fait l'hypothèse en effet que ce message véhicule l'information nécessaire et suffisante pour *décrire* correctement *l'organisation* d'un système (et donc pour être en mesure de prédire son comportement en présence de toute chronique d'intrants), on peut considérer que la quantité d'informations apportée par cette description mesure le degré d'organisation de ce système. Si, au lieu de construire une maison brique à brique, on la fait en versant du béton dans des moules, la quantité d'informations nécessaire décroît considérablement : l'image d'H. Atlan (1972, p. 74) éclairera peut-être le propos mieux qu'un long exposé.

Si donc, partant d'un niveau d'organisation donné, évalué par une certaine valeur de la fonction *H*, nous voulons prédire, de proche en proche, l'évolution organisationnelle de ce système, on peut penser que l'examen de la dérivée *dH/dt* de *H* (supposée continue) par rapport au temps nous donnera quelques indications précieuses : positive, l'évolution proche se fera par variété croissante ; négative, par variété décroissante (il faudra plus ou moins d'information pour décrire l'organisation du système, et donc cette organisation sera plus ou moins riche qu'à l'instant précédent).

L'expression de *H* peut se formuler en référence à deux grandeurs caractéristiques du système, que Shannon avait identifiées :

---

1. La fonction H de Shannon s'évalue par H = — ♠$p_i$log2p_i, avec ♠$p_i = 1$, p_i étant la probabilité d'apparition d'un état (ou d'un signal) 1 parmi les *N* états (ou signaux) que le message considéré est susceptible de présenter. Si tous ces états sont équiprobables ($p_i = p = \frac{1}{N}$ pour tout *i*), $H = — \log_2 p = + \log_2 N$. Si *N* est le nombre d'états équiprobables, nous avons vu qu'il était inversement proportionnel au nombre de complexions *P* (lequel décrit la distribution de tous les micro-états : cf., par ex., H. ATLAN, 1972, p. 172) que l'on recense dans le système-message. À une constante près, on observe donc une analogie formelle entre *H* et la fonction de Boltzman $S = k \log P$. Sur cette analogie, L. BRILLOIN (1956 et 1964) a développé quelques généralisations remarquables mais encore discutées. H. ATLAN (1973, chap. 9) présente une synthèse brillante de ces discussions et conclut par la légitimité d'une valorisation neg-entropique de l'information. Pour éviter bien des ambiguïtés, il importera de vérifier les conventions de signes faites par les auteurs. Pour justifier l'interprétation de l'information comme une neg-entropie, il faut, rappelle H. ATLAN (1972, p. 201), considérer que *l'entropie est une mesure de l'information que nous n'avons pas.*

— d'une part H_{max} : la quantité maximum d'information que porterait le message si tous ses symboles étaient indépendants et équiprobables, donc si l'organisation décrite était aussi pauvre que possible : une absence quasi totale d'interdépendance obligeant à une description exhaustive par énumération de tous les acteurs, et conjointement une évaluation de la *diversité potentielle* de ce système ;

— d'autre part, R, la redondance moyenne évaluée par la relation

$$R = (H_{max} - H) / H_{max}$$

qui évalue la distance entre le degré d'organisation observé et le cas limite d'inorganisation potentielle [1].

Développant le principe de Von Foerster, H. Atlan propose sur cette expression une interprétation dont l'essentiel peut être résumé par la citation suivante :

Pour enrichir le système, il faut de la redondance et des perturbations.

La quantité H peut s'écrire :

$$H = H_{max} (1 - R).$$

Nous définissons un processus d'organisation par une variation de H dans le temps sous l'effet de facteurs aléatoires de l'environnement. Cette variation est représentée par la quantité :

$$\frac{dH}{dt} = f(t).$$

En différenciant l'équation précédente on obtient une expression pour *f (t) :*

$$\frac{dH}{dt} = - \text{Hmax} \frac{dH}{dt} + (1 - \text{R}) \frac{dH_{max}}{dt}.$$

1. H. ATLAN (1972, p. 259) propose une image très riche qui guidera l'interprétation de la redondance, ou plus spécifiquement dans sa formulation, de l'ambiguïté et de l'équivocation : « … *en fait, la culture correspond à l'existence de livres différents ayant des relations entre eux (des citations littérales aux allusions résumées), mais qui laissent subsister ambiguïté, conséquence des différences entre les livres, qui constituera le surcroît d'information reçue par l'observateur, tel que l'on parle de culture, et non de simple juxtaposition ou de répétition...* »

Le taux de variation de quantité d'information $\frac{dH}{dt}$ *est ainsi la somme de deux termes qui correspondent, schématiquement, aux deux effets opposés du bruit ou aux deux sortes d'ambiguïté…*

Ces deux termes, fonction du temps, dépendent de paramètres qui expriment formellement la nature de l'organisation à laquelle on a affaire. Ainsi, pour certaines valeurs de ces paramètres, la courbe de variation de la quantité d'information H en fonction du temps sera telle que H commence par augmenter, atteint un maximum pour T_M*, puis décroît. C'est cette sorte de variation qui pourra s'appliquer à un type d'organisation qui est celui des organismes, où une phase de croissance et de maturation, avec possibilité d'apprentissage adaptatif, précède une phase de vieillissement et de mort. Le point intéressant ici est que ces deux phases... sont le résultat des réponses de l'organisme à différents stades de son évolution, aux facteurs d'agression aléatoire de l'environnement : ce sont les mêmes facteurs responsables de la désorganisation progressive du système qui conduit ultérieurement à sa mort, qui ont précisément « nourri » son développement avec complexification progressive... C'est pourquoi nous avons proposé d'utiliser justement ce formalisme pour définir quantitativement le concept d'organisation lui-même, de telle sorte que la propriété d'auto-organisation, c'est-à-dire d'accroissement de complexité apparemment spontanée (en fait provoqué par des facteurs aléatoires de l'environnement), en soit un cas particulier...*

... Pour qu'un système ait des propriétés auto-organisatrices, il faut que sa redondance initiale ait une valeur minimum, puisque ces propriétés consistent en une augmentation de complexité par destruction de redondance. Ce n'est que dans ces conditions que la courbe de variation H(t) pourra avoir une partie initiale ascendante (H. Atlan, *in* E. Morin, 1972, p. 29-32).

Cette discussion de l'évolution structurelle d'un Système Général ouvert recevant des intrants qu'il n'est pas toujours en mesure de *décoder* parce qu'il ne dispose pas encore du programme correspondant est, on le devine, d'une grande généralité. Ne serait-ce que parce que l'on en tire une interprétation très opérationnelle qui sera pourtant perçue comme paradoxale (voire comme blasphématoire par les militants de l'efficacité à tout prix).

Pour pouvoir tirer parti de l'événement (non programmé), pour transformer cette expérience en programme, et donc pour enrichir sa variété (son degré d'organisation) il importe que le système dispose d'une réserve initiale de *redondan*ce (et, le cas échéant qu'il soit en mesure de la reconstituer). Il importe aussi qu'il se soumette *à l'événement*, autrement dit qu'il ne filtre pas trop sévèrement les perturbations que véhiculeront ses intrants (le bruit selon Von Foerster). C'est par eux, peut-être, qu'il importera de la variété. Toute l'expérience de l'enrichissement organisationnel par *apprentissage*

s'interprète quasi spontanément par cet autre deuxième principe adapté aux systèmes ouverts.

Évolution et révolutions sont le résultat de l'intégration créatrice *du bruit dans le système par une trace mémorisée. Le système qui évolue se souvient du bruit* (A. Wilden, 1972, p. 403).

Ces quelques remarques trop rapides ne rendent sans doute pas suffisamment compte de la fécondité de ce modèle encore peu exploré par les systémiciens. A. Wilden (1972, p. 400) en a, je crois, eu l'intuition en soulignant : *la grande improbabilité, le caractère accidentel de l'événement constituent tout ce dont nous disposons pour rendre compte du pont neg-entropique entre l'homéostasie, l'homéorhèse et la reproduction invariante (structure et synchronie) d'une part, et l'évolution morphogénétique (système et diachronie) d'autre part.*

Il nous faut nous limiter ici à souligner son importance et ses promesses, en proposant d'en récapituler l'essentiel par deux courbes qui imagent peut-être le passage de la prévision par réduction à la prévision par extension de l'évolution structurelle du Système Général : la figure 10.4 reprend les courbes des figures 10.2 et 10.3 en repérant l'évolution d'un système fermé par sa fonction d'état exprimé en variété plutôt qu'en entropie.

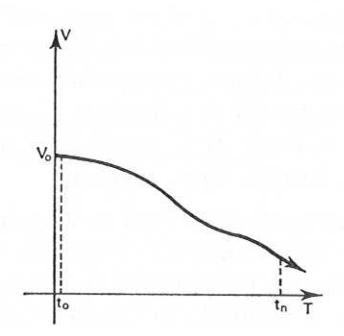


FIG. 10.4. — *La variété V d'un système fermé décroît au fil du temps T.*

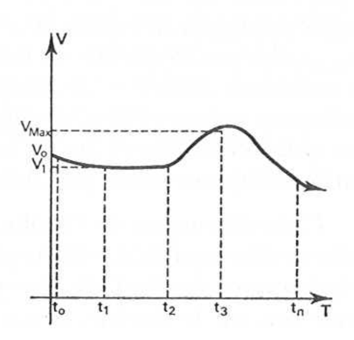


FIG. 10. 5. — *La variété V d'un système ouvert peut ne pas décroître, s'il importe assez de variété de maintenance (de t_1 à t_2) et peut même croître si sa redondance initiale est suffisante (de t_2 à t_3).*

En regard, la figure 10. 5 symbolise l'évolution de la variété d'un système ouvert, disposant initialement d'une certaine redondance et exposé à un environnement suffisamment turbulent. On propose sur ce

schéma qu'à partir de $t = t_1$, le système importe de la variété de maintenance, puis à partir de t_2, importe une variété d'accroissement. On pourrait bien sûr enrichir cette chronique en représentant dans cette acquisition de variété neuve, quelques redondances spécifiques à partir desquelles le principe de Von Foerster pourrait jouer à nouveau. On devine aisément le type d'interprétation que ces considérations permettent dès lors que l'on modélise une entreprise reconstituant ses stocks ou sa trésorerie, ou une armée reconstituant ses réserves.

Fonction d'état et catastrophes morphologiques

Cette même figure exprime en outre la *discontinuité* dont on a voulu rendre compte en passant de l'équilibration (fonctionnelle par rapport à quelques finalités) à l'évolution (structurelle). La fonction d'état rend compte des *ruptures morphologiques* d'un Système Général dont la variété change, par plage, au fil du temps. La chronique de ces changements, que R. Thom (1972) a proposé d'appeler la chronique des catastrophes [1], la succession des formes, est le récit de l'évolution (cf. chap. 12, p. 259) : de formes en formes plus riches (ou diversifiées) ou plus pauvres (ou uniformisées) (organisation du système connaît des catastrophes qui l'affectent profondément dans ses apparences, dans ses comportements, sans briser pourtant son identité : la reconnaissance d'un même être sous l'infinie multiplicité *de ses aspects* (R. Thom, 1972, p. 17).

Évolution finalisée et finalisante

Il reste que *sans l'avoir noté, nous avons associé l'idée de chronologie à celle de causalité* (E. Huant, cité par Ozbekham *in* Weiss, 1971). Cet examen de la fonction d'état a pu se développer comme s'il existait quelques lois (ou quelques principes révélés : le deuxième, par exemple !), connues ou à découvrir, qui nous garantiraient dans la validité scientifique de la prédiction. Qui pourtant serait dupe ? L'identification de quelques conditions nécessaires mais générales ne justifie aucune prétention causaliste et n'aliène pas la liberté du modélisateur. Le pilotage de l'évolution sous les contraintes d'une histoire parfois, d'un environnement toujours, reste l'hypothèse de base de la dynamique du Système Général. Supposer le problème résolu par quelque main invisible n'est pas une hypothèse de modélisation validée (même si elle est parfois confortable pour le modélisateur). Il nous faudra reconsidérer cette interprétation de l'évolution structurelle à partir du système de finalisation — et donc du système de planification — du Système Général comme nous

---

1. R. THOM précisera peu après : « la théorie des catastrophes, c'est-à-dire, en fait, la théorie de la bifurcation » (1976, p. 13).

avons dû le faire pour interpréter la stabilité structurelle et l'équilibration. La description de l'évolution d'un système par sa fonction d'état ne suffit pas à l'intelligence active de l'objet modélisé.

*
* *

▶ Relecture

La représentation de *l'évolution morphologique (ou* de la *chronique des transformations)* d'un système trouve sans doute dans le concept de *fonction d'état* — et dans les concepts associés (variété, neg-entropie, richesse organisationnelle, bifurcation ou catastrophe, dynamique morphogénétique, Ré-organisation...) — un instrument de modélisation adéquat : il permet au moins de libérer le modélisateur de l'inadmissible postulat de l'invariance structurelle, et il l'incite à reconnaître l'irréversibilité temporelle de toute perception. (Ce que N. Wiener, dans le chap. 1 de *Cybernetics,* 1948, appellera : le *passage du temps Newtonien au temps Bergsonien).* Mais, sans doute parce qu'elle se présente sous la forme d'une *mesure* (l'entropie, ou la variété, a une valeur numérique), la fonction d'état risque d'être interprétée sous une forme par trop réductionniste, et donc appauvrissante [1]. Appauvrissement qui a incité quelques chercheurs à restituer à notre représentation de l'évolution *sa complexité* et donc son imprévisibilité.

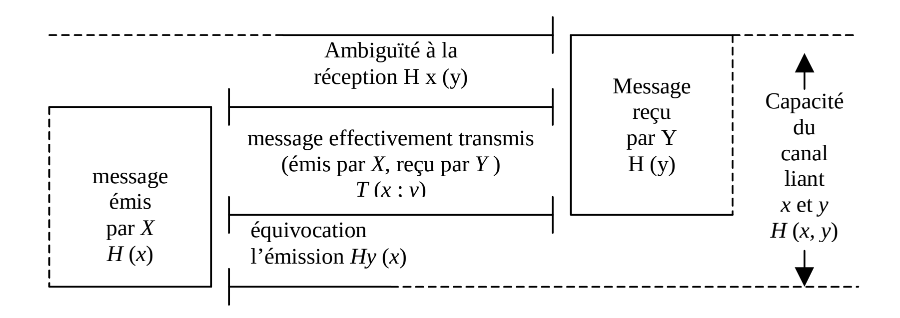
Il ne s'agit pas d'un glissement sémantique par lequel on baptiserait complexité ce que l'on appelait hier variété ou neg-entropie (ce que propose implicitement J.-L. Casti, 1979, p. 120), ni d'une sorte de promotion de la *Complication,* la Complexité n'étant que le nom donné au compliqué lorsque la taille du système augmente, dépassant la capacité cognitive du modélisateur (thèse implicite d'une riche *théorie de la complexité,* que développent les ingénieurs de la commutation électronique par exemple) [2].

---

1. On doit suggérer ici au lecteur pensif une autre relecture, celle de l'appendice C de l'ouvrage de I. PRIGOGINE, *Temps, Physique et devenir* (1980), titre en anglais : *From being to becoming : Time and complexity in Physical Sciences* intitulé : « Entropie, mesure et principe de superposition en mécanique quantique ». I. Prigogine s'y réfère notamment (p. 252) à une importante réflexion du physicien B. d'Espagnat (1979, p. 161) sur le problème de la mesure.

2. Une excellente présentation de la théorie de la complexité dans : N. PIPPENGER, *Complexity theory. Scientific American,* vol. I, 1978, p. 86-95, et dans M. J. MARCUS, The theory of connecting network and their complexity : a review, dans *Proceedings of the IEEE,* vol. 65, n° 9, sept. 1977, p. 1263-1271 Jean VOGE, à qui je dois ces références importantes, les présente dans son étude, *Un nouvel ordre économique de l'information et de la communication,* DGT PTT, novembre 1981.

Il apparaît, en effet que les divers modes de formulation de la fonction d'état d'un système évoluant dans le temps se fondent tous sur une hypothèse de représentation symbolique d'un état et d'une *différence* entre deux états [1], autrement dit sur *l'Information.* (On retrouve sans surprise la correspondance constitutive Information-Organisation que l'on avait reconnue lors de la relecture du chap. 8.) Or l'information est, par définition, un concept ambigu, ou, plus correctement, un concept qui autodéfinit *l'ambiguïté* et *l'équivocation :* ambiguïté et équivocation inhérentes à tout message transmis, *le bruit,* dont H. Von Foerster avait reconnu la spécificité [2] : *Le bruit n'est pas le désordre.* On doit à H. Quastler (1956) [3] une reconstruction de la théorie de l'information qui met très clairement en valeur cette *représentation de l'information* transmise : deux systèmes ne communiquent jamais directement, ils communiquent par la nécessaire *médiation* d'un tiers, le canal, *inclus* dans leur communication. L'intervention du canal dans la communication n'est jamais neutre : H. Quastler a proposé un schéma très commode de l'articulation de l'information suscitée par cette médiation du canal.



1. On n'a pas encore épuisé la richesse de la définition de l'information proposée par G. BATESON : « En fait, ce que nous désignons par information — l'unité élémentaire d'information — c'est *une différence qui crée une différence* » (souligné par l'auteur), t. II de *Vers une écologie de l'esprit,* 1972-1980, p. 210.

2. G. GUNTHER, 1962 (dans YOVITS, 1962, p. 340-341), a très vite mis en évidence l'originalité de la notion de bruit informationnel auto-organisateur reconnue en 1959 par H. von Foerster, en montrant que le bruit, ainsi entendu, n'était pas réductible au désordre, mais à la *conjonction de l'ordre et du désordre.* Le modèle de QUASTLER (1956) que l'on présente plus loin confirme cette *organisation du bruit* articulant ambiguïté et équivocation.

3. H. QUASTLER, A primer on information theory (1956) dans YOCKEY *et al.* (1956), p. 3-49. On doit probablement à H. QUASTLER les premiers travaux fondamentaux sur la correspondance Information-Organisation présentée par N. WIENER en 1948. (Voir en particulier son livre posthume : *The emergence of biological organization,* 1964 ; voir aussi l'introduction de J.-L. LE MOIGNE et R. VALLEE, 1982.)

Symboliquement, le récepteur *Y* reçoit à la fois plus (ambiguïté) et moins (équivocation) d'information que ne lui en a adressé l'émetteur *X*. Ce gain et cette perte, *a priori* aléatoires, n'ont évidemment aucune raison de se compenser. Mais, dans la mesure ont cette information transmise est présumée nécessaire à *Y* pour que le comportement résultant du système soit conforme à son projet, on pourra voir apparaître des comportements imprévus (*l'émergence du nouveau et du sens*, par décodage de l'ambiguïté reçue, par exemple) et disparaître des comportements attendus (par *ignorance* de l'équivocation attachée au message émis).

On dispose ainsi d'une interprétation intelligible des changements de comportement d'un système informé au fil du temps : c'est ce modèle que H. Atlan a réélaboré et interprété dans des termes que l'on a rapidement rappelés dans ce chapitre. Il porte en lui-même l'interprétation de cette aléatoire évolution comportementale et morphogénétique du système en termes d'imprévisibilité, et donc en termes de *complexité.* Ce modèle nous donne une représentation du fonctionnement (les messages effectivement transmis (les *ordres*), tout en nous assurant que cette représentation n'épuise pas la description du phénomène (les *désordres*), parce qu'elle porte en elle-même sa propre ambiguïté : une ambiguïté *potentielle,* ou *invisible* [1], susceptible de s'avérer soudain *actuelle, ou visible :* apparition d'une *bifurcation,* et choix d'une des voies, sur la trajectoire du système modélisé. C'est le postulat du caractère inépuisable (non exhaustif) de cette représentation qui fonde la *complexité* du modèle : plus elle est « grande », plus le modèle, bien qu'intelligible, est susceptible d'avoir à prendre en compte des *états* initialement tenus pour imprévus (mais pas imprévisibles).

Une des difficultés de la notion de complexité ainsi entendue tient à ce qu'elle caractérise la représentation, ou le modèle du phénomène considéré, et non le phénomène lui-même : la *complexité est une propriété attribuée par le modélisateur,* elle n'a pas de *portée ontologique.*

Cette restriction — trop rarement explicitée encore — résulte de la définition de base de la fonction d'état : dès lors qu'elle se fonde sur l'évaluation de l'information active au sein du système modélisé, elle nécessite une convention sur la *représentation de l'information* telle que celle que l'on a empruntée à H. Quastler. Celui-ci avait naturellement souligné l'importance que prenait, dans ce modèle, le célèbre *théorème 10 de la voie avec bruit* de C. Shannon [2] : sous réserve d'une contrainte de capacité minimale du canal *XY*, il est

1. Voir notamment Y. BAREL (1979) pour la correspondance « actuel-potentiel », et (1982) pour la correspondance « visible-invisible ».

2. C. SHANNON et W. WEAVER (1949), p. 68 (éd. 1975) ; H. ATLAN (1972) en propose une discussion claire et complète (p. 41).

possible de trouver un *système de codage* qui permette de transmettre de façon correcte (une fréquence d'erreurs aussi faible que l'on veut) un message de *X* à *Y* (autrement dit, de réduire l'équivocation autant qu'on le veut). C'est je crois H. A. Simon [1] qui a le premier attiré l'attention sur la conséquence de cette formulation sur la définition de la complexité : peut-on en effet proposer d'évaluer la valeur de la complexité par le nombre de symboles (ou d'organisations séquentielles de symboles) requis pour décrire les transmissions de l'état d'un système à un autre ? Puisqu'il doit exister des systèmes d'encodage qui réduisent le bruit (source de complexification) en annulant l'équivocation (H. A. Simon ne se sert pas de cet argument proposé par le théorème 10 de C. Shannon), et puisque le récepteur — ayant mémoire — peut disposer d'un très grand nombre de systèmes de décodage lui permettant de *surcoder* un message affaibli par la transmission, l'évaluation de la complexité perçue est exclusivement dépendante du système d'encodage adopté pour *construire* les représentations de l'information. L'instrument d'observation (ici le codage) affecte de façon décisive les propriétés du phénomène observé ou modélisé (ici sa complexité) [2].

Cette intelligence de la complexité suggérée par l'interprétation des modèles de l'évolution morphogénétique d'un Système Général met en valeur la reconnaissance de *l'interaction objet/sujet* dont on avait, dès l'origine, souligné la nécessité épistémologique pour la modélisation systémique. Elle suggère une certaine humilité dans la présentation des modèles et des théories de l'évolution, mais elle ne prive en rien le modélisateur de la fécondité de cette heuristique que H. Atlan puis J.-P. Dupuy ont proposé d'appeler *la complexité par le bruit* [3] et E. Morin (1917) *le paradigme de complexité.*

Notes complémentaires pour la deuxième édition

([a]) II faudrait sans doute rédiger cette phrase de façon moins catégorique : les représentations autoréférentielles suggèrent précisément la transgression de cet interdit logique. Transgressions pourtant intelligibles et cohérentes dès lors qu'on les entend dans le temps de la modélisation : le référentiel du système modélisateur-modèle change au fil du temps. (Voir par exemple D. HOFSTADTER, 1979, p. 49 ; et G. GUNTHER, Time, Timeless logic and self-referential systems, 1967, *Ann. N.Y. Acad. Sci.*, 138-396.)

([b]) Le principe *order from noise* que H. von FOERSTER avait formulé en 1959 a fait l'objet de beaucoup de travaux depuis 1977 après une curieuse

---

1. H. A. SIMON, Complexity in the representation of patterned sequences of symbole (1972), repris dans H. A. SIMON, *Models of thought* (1979), p. 292-305.

2. B. d'ESPAGNAT (1979) a lumineusement remis en valeur, à partir de l'expérience des physiciens contemporains, cette interaction de l'instrument d'observation sur le phénomène observé et sur le sujet observant (cf. notamment les chap. 3 et 4).

3 Voir H. ATLAN, 1979, p. 5 ; et J.-P. DUPUY, 1982, p. 116.

« traversée du désert », d'autant plus curieuse que quelques chercheurs éminents avaient très tôt souligné son importance (ainsi G. GUNTHER, dans YOVITS, 1962, p. 340) introduisant, à l'aide de cette « clef », les logiques transjonctionnelles ; puis, on l'a vu, H. ATLAN (1972) reprenant et reformulant ce paradigme, en s'aidant de la formalisation de l'information due au biologiste H. QUASTLER (1964). Le parallélisme entre ce modèle et celui dû à I. PRIGOGINE et G. HELIOPOLIS (1977) introduisant « l'auto-organisation par fluctuation » a sans doute accéléré les recherches sur ce thème complexe. Complexité révélée par le fait que la plupart des chercheurs qui l'ont explorée ont été conduits à une réflexion épistémologique approfondie : voir par exemple G. GUNTHER (dans YOVITS, 1962), H. von FOERSTER (dans B. INHELDER, 1977), H. ATLAN (1979), I. PRIGOGINE et I. STENGERS (1979), F. VARELA (1979, notamment le chap. 16), J.-P. DUPUY (1982) et E. MORIN (1977, 1979, 1982). Cette réflexion épistémologique a d'ailleurs fait l'objet de discussions souvent polémiques, révélatrices au moins de son caractère novateur dans les cultures contemporaines, suscitées en particulier par le mathématicien R. THOM (Revue *Débats*, n° 3) ou le biologiste A. DANCHIN (Revue *La Recherche*) en 1980.

CHAPITRE 11

		A	S	E
3	**F**	4	7	10
2	**O**	5	8	**11**
1	**G**	6	9	12

la dualité différenciation-coordination du système général

1. Les deux principes de l'évolution structurelle

Forger quelque hypothèse sur l'évolution structurelle de l'objet, telle que la perçoit un observateur extérieur attentif aux discontinuités de la fonction d'état, ne saurait satisfaire assez le modélisateur, surtout s'il se veut concepteur. Il tente de compléter cette définition expérimentale de l'évolution par une interprétation plus descriptive, en se proposant le point de vue de l'observateur interne. L'exercice est certes plus délicat encore. L'intervention du Système de Représentation sur l'objet à connaître n'est neutre (cf. chap. 3) ni pour l'objet, ni pour le modélisateur : *en changeant ce qu'il connaît du monde, l'homme change le monde qu'il connaît et, changeant le monde dans lequel il vit, l'homme se change lui-même* (Th. Dobzansky, 1962-1966, p. 391, cf. chap. 3, p. 85). Mais cette lucidité enrichit, à son tour, l'investigation, dès lors qu'elle fait son credo de la vertu d'humilité intellectuelle.

A. Koestler, dans un essai trop peu connu sur l'histoire des conceptions de l'univers, nous livre les deux clefs par lesquelles la plupart des chercheurs se proposent aujourd'hui de décrire, ou d'analyser, le processus de l'évolution du Système Général : *on peut décrire le processus de l'évolution comme une différenciation de structure, et une intégration de fonction. Plus les parties sont différenciées et spécialisées, plus il faut de coordination pour former un tout équilibré* (A. Koestler, 1958-1967, p. 618). Différenciation et intégration ! (Nous préférerons souvent coordination à intégration :

synonyme, à la fois moins totalitaire et plus général ; il est tant d'intégrations imposées qui ne conduisent pas à des touts équilibrés.) Faut-il citer d'autres chercheurs pour valider la pertinence de ces deux facteurs en dualité ? Peut-être, par exemple, cet extrait d'une étude sur les abeilles ; apparemment distante de nos propos du moment : *comme toute organisation, la société des abeilles repose sur deux principes : la différenciation ou distribution du travail entre ses différents membres et la coordination ou direction de toutes les facultés individuelles* (G. Hess, traduction française, p. 51). Dualité différenciation-coordination : nous disposons, non sans étonnement, dès l'abord, d'un concept d'une réelle simplicité et d'une grande généralité pour décrire analytiquement l'évolution structurelle du Système Général... et des objets que, grâce à lui, nous systémographierons.

L'obsession de la coordination et le manifeste différencialiste

Non sans étonnement car, par un paradoxe qui trouve peut-être sa source dans un monstrueux anthropocentrisme dont les racines sont profondes, nous étions assez peu accoutumés à convenir de cette simplicité : *les théoriciens et chercheurs ont été tellement obnubilés par les problèmes de coordination que beaucoup d'entre eux ont négligé le non moins important besoin de différenciation dans les organisations*, observent les sociologues P. Lawrence et J. Lorsch (1967-1973, p. 24).

La rééquilibration, ou plutôt la restauration d'une dualité perdue, n'est pas encore achevée : les appels au droit à la différence, et conjointement au droit à l'imagination, sont perçus comme des idées neuves (1968). Le manifeste différencialiste d'H. Lefebvre date de 1970 : *une notion apparemment banale, la* différence, *confirme à chaque instant son importance théorique et pratique. Elle s'annonce par* différentes voies *(politique, philosophie, économie politique, anthropologie, ethnologie, art et littérature...) qui sont les* voies de la différence. *Cette notion exprime quelque chose en ce qui concerne le passé : elle signifie quelque chose en ce qui concerne le possible. Qui digère, et de qui, et de quoi ?... D'où le* différencialisme : *une flèche pour montrer* une issue *entre la thèse du monde clos et celle du monde béant.* Une issue que nous caractériserions volontiers comme celle du monde *ouvert* [1] *!*

---

1. Ce chapitre était achevé lorsque j'ai découvert le commentaire suivant d'Y. Barel sur la pensée d'H. Lefebvre : « *Et puis, il y a des penseurs importants qui prennent cet ordre en haine. La hargne d'un Henri Lefebvre contre l'idée de système lui vient de sa colère plus que légitime contre cette manie de l'ordre, ce refus obstiné de reconnaître qu'il y a toujours plus de choses sur terre et au ciel qu'Horatio ne peut en rêver dans sa philosophie. Mais, ce faisant, Lefebvre nous prive du très grand théoricien qu'il aurait pu être s'il avait accepté le risque de* « *systématiser* ». »

Cette militance pour la différence, et donc cette attention aux spécificités de la différenciation dans l'évolution structurelle du Système Général, doivent bien sûr s'interpréter de façon pendulaire. L'enjeu sous-jacent est la valorisation de la dualité différenciation-coordination. *En d'autres termes,* interrogent P. Lawrence et J. Lorsch (*ibid.*, p. 24), *comment l'intégration* (ou la coordination) *peut-elle être obtenue sans sacrifier le besoin de différenciation ?*

« L'union différencie » (P. Teilhard de Chardin)

La tentation est grande de développer, en réponse à cette question, telle ou telle des grandes fresques déterministes qui se déploient progressivement, souvent dans une grande beauté, à partir de la théorie de l'évolution. Ch. Darwin (*L'origine des espèces* date de 1859), H. Spencer (*Les premiers principes* date de 1862), P. Teilhard de Chardin (*Le phénomène humain,* achevé avant 1930, parut en 1955), Th. Dobzhansky (*L'homme en évolution* date de 1962) nous livrent quelques-unes des plus impressionnantes constructions qu'ait jamais forgées l'esprit humain pour se représenter la dynamique interne, l'évolution, de toute structure. Leurs visions appartiennent sans doute déjà à la culture des modélisateurs, et il n'importerait ici que de les formaliser dans leur économie, si on ne devait souligner auparavant l'emprise de la *nécessité,* disons plus crûment : de la *causalité,* à laquelle elles s'assujettissent. Pour le concepteur de système, les lois ici sont contraignantes, si elles se prétendent explicatives, et donc totalitaires. Il ne leur demande que quelques vertus modélisatrices pouvant suggérer interprétation ou interrogation, sans imposer la réponse. Le principe de la dualité différenciation-coordination, pour interpréter l'évolution structurelle de l'objet, nous suffira ici, et nous n'aurons pas même à nous imposer une hypothèse sur le primat historique de l'une sur l'autre. Il nous importait pourtant de nous assurer de la permanence de ce principe de dualité dans toutes les interprétations que nous livrent les grandes méditations sur l'évolution.

L'affirmation de ce principe nécessite bien sûr quelques commentaires qui passeront par une brève discussion des concepts de différenciation et de coordination et par l'examen des conditions. de leur modélisation.

Y. Barel ajoute, confortant je crois l'hypothèse du caractère fondamental de dualité différenciation-coordination que l'on argumente ici : « *C'est peut-être au point de croisement de ces deux tendances que se situe la chance de l'idée de Système sous sa forme moderne* » (Y. BAREL, *Afcet,* avril 1976).

2. La différenciation : la blastula devenant gastrula !

La modélisation du processus de différenciation structurelle au sein du Système Général (car il s'agit bien d'un processus au sens où nous l'avons défini au chap. 4) n'est peut-être pas aussi familière qu'on pourrait le penser. L'image embryologique proposée par H. Simon (1969-1 974 p. 137) de la blastula se différenciant en une gastrula peut éclairer la démarche : *La gastrulation est un processus complexe qui transforme la blastula en une larve encore indifférenciée, la gastrula, mais qui possède déjà les trois couches cellulaires dont tous les organes de l'adulte proviennent (ectoderme, mésoderme, endoderme)* [1]. Ainsi, au sein d'un processeur assurant certaines activités, interprété par rapport à certaines finalités, se différencient trois nouveaux processeurs, eux-mêmes finalisés, développant leurs propres activités éventuellement différentes les unes des autres.

De la même façon le système-cellule se différenciera en trois premiers sous-systèmes qui développeront chacun diverses activités, parfois très spécifiques : *la membrane-frontière ; l'ensemble* des processeurs d'entrée ou de sortie, de codage ou de décodage, *le cytoplasme*-système opérant, et le noyau-système de pilotage.

Ces illustrations suffisent peut-être à suggérer l'appauvrissement de la différenciation dès lors qu'on la réduit à la spécialisation : *Par « différenciation » nous voulons exprimer les différences d'attitude et de comportement, et non uniquement le simple fait du fractionnement et de la spécialisation*. P. Lawrence et J. Lorsch (1967-1973, p. 21) parlent sans doute en sociologues, mais nous devons généraliser leurs propos. Des formes différentes, des activités différentes, des capacités relationnelles ou cognitives différentes ne justifient pas nécessairement l'identification d'une différenciation parmi les processeurs d'un Système Général. Mais on reconnaîtra un processus de différenciation à l'apparition de nouveaux processeurs identifiables au sein du système. Qu'il s'agisse d'un phénomène d'autodifférenciation apparente (la blastula devenant gastrula) ou d'une importation de processeurs acquis dans l'environnement ou même de transformation partielle d'un processeur existant (ainsi, une mémoire qui s'enrichit d'un nouveau programme), il y a apparition de nouvelle : activités, de nouveaux potentiels d'intervention, diversification extensive de la téléologie du système.

---

1. Définition empruntée à J. BRACHET, in *La Recherche*, n° 30, 1973, p. 95.

La différenciation : réponse téléologique aux perturbations de l'environnement

Il est commode et légitime d'interpréter l'apparition d'une différenciation par rapport à des sollicitations issues des transformations des champs environnementaux d'une part, et par rapport à d'éventuelles transformations des finalités du système, à l'initiative de son système de finalisation d'autre part (cf. la fig. 9.1). La *catastrophe* provoquée par l'apparition d'une forme nouvelle (qui va, à son tour, provoquer une nouvelle équilibration) peut, en effet, paraître subie ou décidée par le système.

Subie, en réponse en quelque sorte à une perturbation (un message inédit) de l'environnement, la différenciation se localisera *a priori* plus aisément au sein du sous-système opérant. Sans changer de finalités, et sans affecter notablement le pilotage, il faut développer un nouveau processement (ainsi, une entreprise qui se dote de nouveaux véhicules, pour faire face à une nouvelle réglementation routière ou à une nouvelle technologie, p. ex.).

Décidée, à l'initiative du sous-système de finalisation diversifiant les objectifs du système, elle se localisera plus commodément au sein du système de pilotage (ainsi, une entreprise qui se propose un objectif en matière d'hygiène-sécurité commencera-t-elle par créer un nouveau système de décision au sein de son siège social !).

Il ne s'agit là, bien sûr, que de recettes probablement artificielles susceptibles pourtant d'aider le modélisateur à localiser ou à anticiper une différenciation, l'apparition de nouveaux processeurs au sein du système qu'il conçoit, qu'il simule ou qu'il décrit [1].

> À l'intérieur de tout système, mieux pour que des éléments forment un système, il faut une diversité essentielle entre les composants. Ne pourront être identiques que des substances chimiques sans réaction, indifférentes les unes aux autres comme des mondes fermés.
>
> (G. BACHELARD, 1934, p. 80.)

1. La formalisation des processus de différenciation semble encore inachevée. On distingue deux types de phénomènes : les uns — morphostatiques — se développent par extension, par régulation, voire par équilibration ; les autres — morphogénétiques — se développent par reproduction, par bifurcation ou par mutation.

L'identification de la différenciation par celle des frontières

Il est une autre recette de modélisation de l'émergence de processeurs différents qui résulte sans doute d'un phénomène très général, mais encore bien mal identifié : je veux parler du processus de constitution et de repérage des *frontières du Système Général* et de ses processeurs élémentaires. On a déjà souligné l'importance de ce point (cf. chap. 5, p. 89 et chap. 8, p. 173), importance que soulignent divers chercheurs en quête de quelques règles de différenciation par identification des frontières. On peut, pour stimuler l'imagination du lecteur, citer certaines de ces propositions, faute de pouvoir encore les fédérer... et, en leur reprochant à toutes l'ignorance tacite des finalités propres du Système de Représentation qui procède à l'identification des différenciations tenues pour pertinentes. Elles postulent l'existence de quelques lois plus intuitives que démontrées.

— Ainsi, J. Platt (*in* Whyte *et al.,* 1969 p. 203 +) propose un certain nombre de *théorèmes* sur l'identification des frontières. Les frontières des processeurs au sein d'un système auraient tendance à *se superposer pour se renforcer mutuellement* (nombreux exemples dans les systèmes biologiques). Tous les *gradients et flux à proximité d'une frontière tendent à être soit parallèles, soit perpendiculaires à la frontière.* Les « portes » sur la frontière ont tendance à se superposer (ainsi, la bouche)...

— R. Gérard (*in* Whyte *et al.*, 1969 p. 216) souligne l'intérêt des dispositifs *d'exagération des différences* dont peuvent disposer les Systèmes de Représentation. Ainsi l'œil qui repère une différence d'intensité lumineuse lors du mouvement des récepteurs rétiniens suggère ainsi l'hypothèse d'une frontière alors qu'une brillance ou une couleur uniforme peuvent, en revanche, la lui dissimuler.

— Th. Vogel (1973, p. 17) part de l'hypothèse que le modélisateur connaît *a priori* la loi d'évolution du système : « ... *On pourra souvent être guidé par la définition même des points intérieurs et des points frontière : dès que dans un voisinage aussi petit qu'on voudra d'un point, il s'en trouve dont le comportement n'est plus régi par la loi d'évolution, c'est qu'on se trouve sur la frontière.* »

— A. Wilden (1972, p. 159) généralisant une étude du système nerveux, pense qu'il y a *nécessairement digitalisation lorsqu'il y a traversée d'une frontière.* Nous avions déjà perçu cette interprétation en postulant l'émergence dans un système de l'information-représentation des transactions (cf. chap. 6, p. 132).

— K. Berrien (1968, p. 23), qui souligne lui aussi le rôle codeur-décodeur de la frontière, suggère la théorie d'un *seuil critique de proximité* entre les processeurs internes au système. Il introduit ainsi une idée qui sera souvent reprise, d'une reconnaissance de la frontière par la différence de densité dans les nœuds du réseau des interactions : forte, elle suggère l'intérieur du système ; faible, son environnement. La ligne de partage entre les deux zones s'identifie alors comme la frontière. L'image d'une carte des voies de circulation permet de visualiser ce type de délimitation, dans le cas de l'identification des zones urbaines par exemple.

— J. Eugène (1972, p. 1712), reprenant O. Lang, conceptualise la frontière par l'ensemble des *éléments actifs qui sont couplés à un autre processeur, au moins, n'appartenant pas au système,* mais à son environnement. Ce qui suppose que la règle d'appartenance (donc le projet) du système soit également identifiée (on retrouve le principe de la correspondance frontière-finalité que l'on avait identifiée chap. 5, p. 117).

La méthode du gonflement de la membrane

Ces dernières observations suggèrent une recette de modélisation qui s'avère en général très féconde : la méthode du *gonflement de la membrane* (ou la méthode du *baby-system* préconisée par J. Mélèse, 1972, p. 79 : *l'embryon du système, pas encore muni de toutes ses capacités opératoires, ni de toutes ses informations, mais capable de les développer au contact de l'environnement sur lequel il est ouvert*).

La méthode conduit à privilégier, dans la modélisation, l'examen des transactions du système avec son environnement, donc *ce qui se passe à la frontière.* Ainsi, les biologistes développent-ils un domaine d'investigation très prometteur en modélisant la membrane (ou l'interface) comme un sous-système doté d'une structure, réseau de processeurs, et assurant des activités spécifiques (de transfert et de codages en général (cf. par exemple H. Pattee, 1973, p. 80 +)). C'est ce procédé que l'on avait spontanément mis en œuvre pour identifier le système d'information en gonflant l'interface du système opérant et du système de pilotage, ou du système de finalisation en gonflant la frontière du système de pilotage et de l'environnement (cf. les *niveaux 4 et 9,* chap. 6). La formalisation des processeurs tampons (stock matière première, stock produits finis, p. ex.) apparaît souvent dès que l'on met en œuvre ce procédé de modélisation différenciatrice.

3. La coordination et le syndrome de l'intégrationite

L'examen des processus de coordination appelle à son tour quelques commentaires spécifiques : bien que pour de nombreux modélisateurs la description systémographique se résume au dessin d'un réseau de coordination, il n'est pas certain qu'ils en aient toujours tiré un très bon parti. Le dessin statique d'un réseau (on dit souvent, en théorie des organisations, un organigramme ! Cf. chap. 8, p. 174) ne rend guère compte que des interconnexions interdites, sans révéler, par lui-même, les propriétés potentielles résultant des connexions possibles. Si, selon l'expression très heureuse du célèbre principe aristotélicien [1] proposée par R. L. Ackoff (1975, rapport SCATT), *un système a toujours quelques propriétés dont ne dispose aucune de ses parties,* une carte des interrelations par lesquelles peut s'exercer la synergie des processeurs permettra-t-elle de rendre compte de cet enrichissement ? Toute l'expérience de la modélisation tend à nous convaincre du contraire. Ces réseaux statiques, et sans mémoires, appauvrissent la représentation du système sous l'illusion graphique de la démonstration de sa cohésion. La boutade de G. Weinberg (1975, p. 43) prend ici tout son sens : *La partie est, elle aussi, plus qu'une fraction du tout.* La déification de la cohésion [2] (aux dépens des projets) par tant de concepteurs ou d'analystes de système justifierait un procès particulier, que l'on se borne ici à mentionner, tant il obère la modélisation des processus de coordination. (On pourrait parler du *syndrome de l'intégrationite* en systémographie !)

Ce procès serait au demeurant stérile s'il n'était précédé de quelques commentaires plus constructifs, susceptibles de guider la démarche du modélisateur. On peut les regrouper sous trois rubriques complémentaires.

La coordination : par programme ou par réseau

La coordination de processeurs différenciés au sein d'un Système Général est affaire de *programme* beaucoup plus que de réseau. Le dessin du réseau est, *a priori,* contraignant, réduisant la gamme des programmes possibles susceptibles d'assurer un type de coordination

1. Le tout est plus que la somme des parties.

2. On parle ici de « cohésion » plutôt que de « cohérence », en se référant à la distinction de ces deux termes argumentée en n. 1, chap. 12, p. 259 : cohésion par structure, cohérence par programme.

donnée. Un programme (mémorisé) décrit la chronique des activations successives des interrelations qui enclenchent les interventions des processeurs qu'il importe de coordonner. Dès qu'une interrelation entre deux processeurs n'existe pas, le programme qui pourrait être conduit à l'activer perd un degré potentiel de liberté, et devra élaborer une séquence d'interventions en dérivation parfois complexes, pour suppléer à ce manque. Si bien que, paradoxalement peut-être, le réseau qui se prête le mieux, *a priori,* à la coordination est le treillis complet, au sein duquel les programmes de coordination pourront jouer sur la palette la plus riche possible pour provoquer les activations et les désactivations tenues pour judicieuses.

Cette liberté maximale du système de pilotage dans l'élaboration de ses programmes est souvent insupportable, ne serait-ce que parce qu'elle sursature ses capacités cognitives et relationnelles. Aussi, peut-on interpréter le processus par sa réciproque : pour développer de nouveaux programmes de coordination, le système construit peu à peu quelques nouvelles interrelations qui élargissent la plage d'intégration, lorsque se diversifient environnements ou finalités. Si l'on fait l'hypothèse commode d'une relative corrélation entre le nombre d'interrelations disponibles et le nombre de programmes de coordination qui les activent, on pourra alors admettre que l'on évalue le degré de coordination par le nombre des interrelations.

C'est ce qui explique que les coordinations les plus pauvres soient habituellement assurées par les réseaux les plus économiques : les réseaux arborescents sans boucles ; *l'arborescence correspond à une forme très fondamentale de parcimonie des interactions. L'art consiste alors à découvrir les points de clivage auxquels le passage d'un sous-système*[1] *au suivant se fait, en nécessitant le moins d'information* (H. Simon, in Pattee, 1973, p. 15).

Pourtant, dès lors que les systèmes se bornent à cet arrangement arborescent (arguant du fait qu'il est le plus économique parce qu'il minimise les quantités — d'information par exemple — à processer au sein du système), ils sont contraints d'élaborer des programmes de plus en plus complexes et de plus en plus instables pour se plier aux contraintes du plus pauvre des réseaux de communication. (On interpréterait ainsi aisément bien des phénomènes d'asphyxie bureaucratiques dans bien des systèmes sociaux !)

Une réflexion sur *l'organisation de la coordination structurelle* par la *dualité réseau programme ou, plus* spécifiquement, *communication-mémoire* (cf. chap. 8) nous conduirait à de nombreux développements qui échappent au cadre de cette étude, dans la mesure où ils concernent davantage les systèmes sociaux en particulier, que le Système Général... dans sa généralité. On me permettra pourtant une allusion au processus de *coordination par démocratisation* en citant

---

1. Je triche un peu en extrayant la phrase de son contexte : H. Simon, dans ce passage, parle de l'organisation d'un système informatique, et je traduis sub-routine par sous-système. La généralisation me paraît cependant parfaitement légitime.

quelques lignes d'un des penseurs les plus originaux de l'architecture des systèmes : *Je voudrais revenir sur le concept de démocratisation, c'est-à-dire sur la décision prise... par toutes les personnes concernées susceptibles de prendre des risques à cause de ces opérations. La démocratie, en ce sens, est une institution « à base de mémoire » et non « à base de communication », puisque les individus doivent avoir un contenu de mémoire établi,* a priori, *pour être capable de prendre une décision... Si nous voulons une organisation sociale plus démocratique, nous devons nous servir de la communication dans son état actuel comme d'un outil disposé à disparaître, dont la principale utilisation est la création et l'établissement de « contenus mémoriels »...* (Y. Friedman, 1971, p. 162).

En persistant un instant encore dans le domaine des systèmes sociaux, éclairons le propos en suggérant que l'on tienne pour beaucoup plus importante, dans les processus de coordination des organisations, la conception des *systèmes plans-programmes-budget* (SPPB) que la structuration d'un réseau informatique superposé à l'organigramme traditionnel...

La coordination par absorption de variété

L'intervention d'un système de coordination est réductrice de variété. L'idée de « sous-traiter » le processus de coordination à un sous-système spécialisé, en général le système de pilotage lui-même (cf. M. Mesarovic *et al.,* 1970, p. 117 +), est, *a priori,* séduisante, et permet d'interpréter de façon très opérationnelle bien des modèles, de celui du noyau à celui du cerveau par celui du gouvernement. Elle permet, en particulier, de rendre compte du caractère nécessairement finalisé de la coordination. Elle implique pourtant un certain nombre de conséquences qui sont encore souvent négligées par bien des modélisateurs, bien qu'elles aient été très clairement identifiées dès 1956 par R. W. Ashby (et remarquablement présentées en France par J. Mélèse en 1968 et surtout 1972, p. 66) qui les a introduite par le principe dit de la *variété requise :*

Pour qu'un système de (pilotage) S_1 puisse coordonner complètement un autre système S_2, il faut que sa variété V_1 soit supérieure à celle du système S_2 (la condition n'est évidemment pas suffisante).

Autrement dit, dès lors qu'un système opérant peut exhiber un très grand nombre d'états différents (une variété de plusieurs millions, par exemple) il faut, si l'on souhaite concevoir un système de coordination qui puisse exhaustivement contrôler ce système opérant,

que l'on dote ce dernier d'une variété au moins aussi grande. Quiconque s'est attaché à concevoir un système hautement complexe pouvant manifester plusieurs centaines de milliers d'états différents (cf. chap. 9, p. 211) conviendra, avec J. Mélèse (1972, p. 67), de l'existence probable d'une *barrière de la variété,* au-delà de laquelle le système de pilotage doit perdre l'espoir de coordonner exhaustivement le système opérant sur lequel il est couplé ; *un effet spectaculaire et fréquent de cette barrière de la variété est l'inversion du contrôle : d'une manière imagée, le contrôle lancé comme une balle par le décideur vers l'environnement est renvoyé, par la barrière de la variété, de l'environnement à travers le système, et c'est finalement le décideur qui est contrôlé par le système… Cette situation se présente fréquemment à des degrés divers…* et son examen pourrait… *servir de révélateur aux dysfonctionnements de nombreux organismes.*

Cette limitation pratique de la capacité de coordination concevable dans un système complexe (donc hautement différencié) n'a probablement pas encore été investiguée avec assez de soin par les modélisateurs des systèmes sociaux ou des systèmes technologiques. L'appel tacite à cet extraordinaire générateur de variété qu'est l'être humain, pour absorber les résidus non modélisés de la coordination, provoque souvent une tension intérieure insupportable, caractéristique des technocraties. On peut pourtant espérer que l'appel d'Ashby (1962, *in* Buckley, 1968, p. 117) sera progressivement entendu : *je pense que nous disposons là d'un principe (la loi de la variété requise) dont nous entendrons beaucoup parler à l'avenir, car il domine tout le travail sur les systèmes complexes.* Preuve du travail qui reste à faire dans ce domaine, l'absence d'études sérieuses sur un corollaire, pourtant décisif (s'il est fondé) de la loi d'Ashby, appliqué la comparaison des *taux de variété* (cf. chap. 9, p. 211), et non plus des seules variétés (idée introduite par Van Court Hare, 1967-1972, p. 148).

La coordination différenciatrice par « arboformance »

La coordination par réseaux en arborescence est génératrice de différenciations stables. L'émergence progressive d'une forme différenciée dans un système se fait nécessairement par l'émergence conjointe d'au moins une interrelation qui assure *l'appartenance* du nouveau processeur. H. Simon, dans un essai célèbre, intitulé *L'architecture de la complexité,* a souligné le caractère stabilisateur de cette *coordination différenciatrice.* Les formes stables émergent à des niveaux donnés, à partir desquels se poursuivra, éventuellement, une

ramification buissonnante, de niveaux en niveaux. On ne reproduira pas ici la *parabole des deux horlogers Tempus et Hora* par laquelle H. Simon mit le processus en évidence à l'aide d'une démarche pédagogique exemplaire. Elle fut, plus d'une fois, pillée (par A. Koestler notamment, 1967-1968, p. 49), et le lecteur percevra mieux sa richesse en la redécouvrant dans son cadre original (H. Simon, 1969-1972, p. 112).

Reprenons simplement ici sa première conclusion : *les systèmes complexes évoluent plus rapidement à partir des systèmes simples s'ils sont à même de constituer des formes intermédiaires stables... Parmi toutes les formes possibles du complexe, les arborescences sont celles qui ont le temps d'évoluer...* et son ultime interprétation (p. 139) : *Empiriquement, une grande proportion des systèmes complexes que nous observons dans la nature révèle une structure arborescente. Une analyse théorique nous permet de prévoir que les systèmes complexes seront arborescents dans un univers au sein duquel la complexité émerge de la simplicité. Dans leur dynamique, les arborescences ont une propriété, la quasi-décomposabilité, qui simplifie grandement l'analyse de leur comportement. La quasi-décomposabilité simplifie aussi la description d'un système complexe et permet plus facilement de comprendre comment les informations nécessaires au développement ou à la reproduction du système peuvent être stockées dans des limites raisonnables.*

Avec une rare pénétration, J. Mélèse (1972, p. 73) a su interpréter cette hypothèse de la coordination *arboformée* à la lumière du principe de la variété requise, et retourner ainsi l'interprétation *hiérarchique* traditionnelle.

Les frontières de rationalité sont des frontières de structure : la variété de chaque sous-système, à chaque niveau, doit être absorbée localement, pour ne pas être répercutée au niveau supérieur qui serait incapable de la contrôler.

La structure hiérarchique du pilotage d'un système n'a donc de sens qu'à la condition que le passage d'un niveau au niveau inférieur fasse apparaître de nouvelles sources de variété. Une hiérarchie formelle dans laquelle toute la variété provient du sommet n'est qu'un dispositif de démultiplication qui ne présente aucun caractère de capacité de contrôle, d'adaptation ou d'apprentissage.

Coordination par arboformance et différenciation par rétroformance

Ainsi, nous disposons d'une grille complémentaire pour investiguer la dynamique structurelle d'un système affecté par ses environnements. Sa différenciation interne se développera sans doute selon un processus *arboformant* qui sélectionnera les niveaux stabilisateurs à partir desquels, sous la pression de la *complexité de l'environnement dans lequel il se trouve* (H. Simon, 1969-1974, p. 41), émergeraient de nouvelles formes stables. *Qu'on ne s'y trompe pas*, dira pourtant R. Thom (1974, p. 17), *c'est un problème d'une redoutable difficulté que de formaliser la notion de niveau hiérarchique d'organisation dans une morphologie.* La coordination stabilisatrice de ces formes stables se développera alors par équilibration, une *rétroformance* interne prenant en quelque sorte le relais, à chaque niveau, de l'arboformance initiatrice. Le maintien de l'appartenance des processeurs différenciés au sein du système sera alors soumis aux contraintes imposées par la barrière de variété : l'équilibration, à finalités stables, dans un environnement turbulent, s'interprétait comme une adaptation. La dynamique spécifique des finalités des systèmes autofinalisateurs appellera le développement de nouveaux programmes de coordination, qui risqueraient d'être contraints par le développement trop parcimonieux des interrelations disponibles. L'arboformance avait provoqué la différenciation, l'arborescence unidirectionnelle risque d'asphyxier les processeurs un instant stabilisés.

4. L'évolution : un saut dans le référentiel « différenciation-intégration »

Cette discussion des processus de différenciation et de coordination organisationnels, au sein d'un Système Général considéré dans son évolution finalisée au sein d'un environnement, nous permet de mieux cerner ce que nous entendions par la dualité différenciation-coordination. En repérant la première par le nombre des processeurs actifs, identifiés au sein du système, et la seconde par le nombre des interrelations passives (nombre pondéré, le cas échéant, par celui des programmes mémorisés susceptibles d'activer chacune d'entre elles), on dispose d'un référentiel au sein duquel l'évolution structurelle du Système. Général pourra aisément être localisée. À un instant donné, la

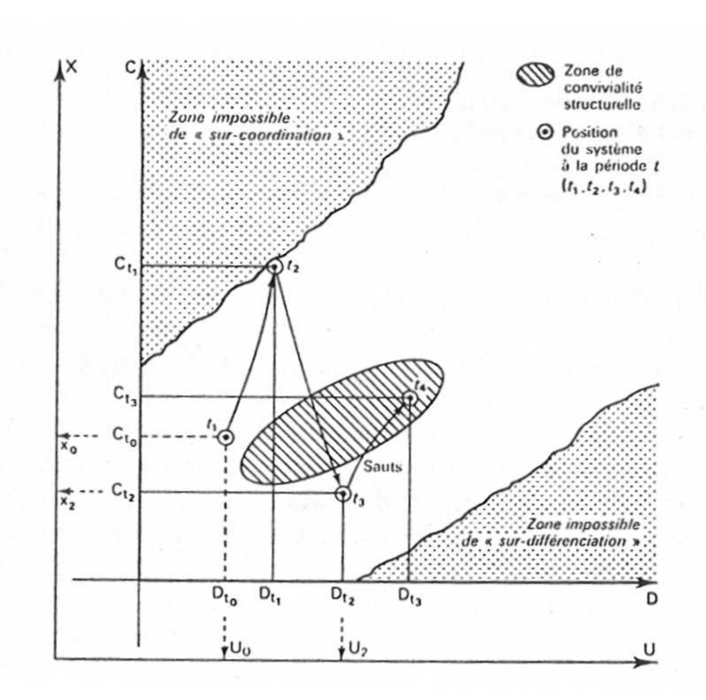


FIG. 11.1. — *Le référentiel différenciation D-coordination C. Le système, stable pendant une plage de temps ƒT, est repéré par un point sur ce référentiel. Un changement de stabilité se traduit par un « saut » du point représentatif, vers le point de coordonnées « D, C » correspondant à la nouvelle stabilité (pour l'interprétation des axes U-X, cf. plus loin, p. 252).*

structure du système en équilibration est caractérisée par un point sur ce référentiel : cf. figure 11.1 : un certain degré de différenciation *D*, un degré de coordination *C*.

Le système connaît une *catastrophe* lorsque ce point représentatif se déplace d'un saut, par différenciation ou par coordination (croissante ou décroissante) ou par toute combinaison des deux : apparition de nouveaux processeurs, de nouvelles interrelations, de nouveaux programmes correspondant à de nouveaux projets. L'histoire de l'évolution structurelle du système se décrit ainsi sur ce référentiel, chaque déplacement symbolisant une crise (ou une catastrophe) ; chaque point symbolisant une phase d'équilibration de durée quelconque. On peut même augurer des zones interdites de sur-coordination (le ciment gorgé d'eau) et de sur-différenciation (le ciment s'envolant au vent), et une zone médiane de *convivialité*

organisationnelle, disons d'équilibre structurel ou d'harmonie interne (cf., p. ex., J.-L. Le Moigne, 1975). A. Molès ou Y. Friedman (1974, p. 32), en proposant le concept de *valence relationnelle* et de *capacité de transmission*, suggèrent même une voie pour évaluer quasi numériquement la position de cette zone (ainsi s'interpréterait heureusement, selon Y. Friedman, le fait que les troupeaux — organisés — d'éléphants ne dépassent pas cinquante membres, préférant la scission dès qu'ils l'atteignent).

Stratégies de l'évolution : les trois modifications possibles de la variété

Ce référentiel permet en outre de généraliser l'interprétation du concept de variété d'un système. Ce nombre des comportements différents résulte directement du nombre des processeurs qui interviennent dans le système et du nombre des connexions différentes que l'on peut établir entre ces processeurs. Mais la donnée d'une valeur de la variété ne suffit pas à nous préciser si elle est obtenue par différenciation ou/et par coordination (croissante ou décroissante). Peut-être serait-il en effet légitime de parler de modifications de variété par coordination, ou par différenciation, ou, enfin, par combinaison des deux : par *compensation* (le choix de ce dernier terme n'est peut-être pas très heureux si on lui associe la connotation de *réversibilité* que lui attribue J. Piaget. Voir la discussion qu'en propose A. Wilden, 1972, p. 319).

Le système dispose ainsi d'un clavier plus nuancé de stratégies organisationnelles pour enrichir ou appauvrir sa variété en réponse aux sollicitations perturbatrices de son environnement ou de son système de finalisation. Le sociologue Jay Galbraith, 1973, l'a concrètement mis en évidence par l'examen de la dizaine des stratégies de développement de sa variété dont dispose un système social, dans un petit essai sur la conception des organisations humaines affrontant des environnements de plus en plus complexes et/ou de plus en plus incertains (son modèle prolonge celui de P. Lawrence et J. Lorsch, 1967-1973, que l'on a déjà mentionné précédemment).

Si la pression de l'environnement tend à accroître l'incertitude (l'imprédictibilité) des conséquences des interventions, la structure du système tendra à se développer par variété de différenciation : apparition de processeurs tampons, de processeurs autonomes de coordination et d'information, de processeurs spécifiques de finalisation

Si la pression de l'environnement tend à accroître la complexité des interventions du système, sa structure tendra à développer une variété de coordination : l'émergence de nouveaux niveaux de

stabilisation, l'élaboration de nouveaux programmes ou de nouvelles procédures, le développement de budgets décomposés, la création de connexions latérales, l'amplification — informatique par exemple — des processements informationnels internes...

La pression complexité-incertitude de l'environnement

Si les deux phénomènes complexité-incertitude ont tendance à s'imbriquer, le système peut se construire un certain nombre de solutions alternatives combinant judicieusement les deux types de stratégies précédentes. (On observera avec intérêt que M. Mesarovic et al., 1970, p. 98, identifieront pratiquement les mêmes solutions, au terme d'une démarche évidemment tout à fait différente, lorsqu'ils recenseront les « principes de coordination ». Il manquera cependant la stratégie dite des « connexions latérales » (au sein d'un même niveau), qui s'avère encore difficile à formaliser dans sa théorie mathématique de la coordination.)

On a eu l'occasion, par ailleurs, d'interpréter cette correspondance entre le niveau de structuration (*D/C*) et le niveau de complexité/incertitude (*X/U*) de la relation du système avec son environnement, dans le cas des systèmes sociaux (cf. J.-L. Le Moigne 1974, p. 145). On ne la développera donc pas plus avant ici, sinon pour souligner sa commodité pour représenter l'évolution structurelle d'un système et la généralité de « la théorie contingente de l'organisation » dans la formulation de P. Lawrence et J. Lorsch, généralisée par J. Galbraith, telle que la met en valeur cette correspondance (simplement rappelée par la fig. 11.1).

Évolution et mémoire

Cette interprétation de l'évolution structurelle du Système Général n'a pas spécifiquement mis en valeur le rôle, probablement privilégié, de la mémorisation des programmes d'évolution structurelle, qui s'élaborent sur le terreau des programmes d'équilibration fonctionnelle (cf. chap. 8 et 9). De l'équilibration à l'évolution, il existe probablement un continuum dont les théoriciens de la biologie nous proposent aujourd'hui quelques modèles par la transition de la morphostase à la morphogenèse. De la rémanence ou de l'hystérésis, par l'apprentissage, jusqu'à la reproduction puis l'autoproduction [1] et l'autofinalisation, la complexification de

---

1. On renvoie volontiers le lecteur aux travaux de F. Varela *et al.,* sur la théorie de « l'autopoïétique » — ou sur l'autopoïésis — chaleureusement évoqués par M. ZELENNY dans les bulletins 75/76 de *Human system management* (*HSM circle*) et depuis peu diffusés en France grâce notamment aux travaux de l'économiste J.-P. Dupuy.

l'aptitude d'un système à s'équilibrer puis à évoluer, se mémorise : dans sa structure d'abord, par quelques empreintes, puis dans ses programmes. L'émergence de l'information-replication typifie peut-être alors le phénomène et nous suggère à nouveau de concevoir l'organisation évolutive autour de ses processeurs de mémorisation. Nous abordons sans doute ici de nouvelles frontières de la connaissance que la progression de la Théorie du Système Général devra contribuer à repousser. Le coin est peut-être enfoncé par l'interprétation génétique de l'évolution structurelle, à laquelle sera consacré, avec beaucoup de modestie, le prochain chapitre.

*
* *

▶ Relecture

On achevait ce chapitre en 1976 en évoquant les développements qu'allaient sans doute apporter les théories de l'autonomie et de la complexité qui émergeaient à peine alors dans la culture scientifique : les « relectures » des chapitres précédents — en particulier celles des chap. 8, 9, 10 — ont mis en valeur ces apports, parfois considérables, que vient de connaître la théorie de la modélisation systémique. Ils se sont plus naturellement engrangés au cœur de la théorie, si bien qu'en apparence ils affectent peu la discussion de cette dualité différenciation-coordination constitutive de l'histoire de l'organisation du Système Général : ils la confirment et la confortent, mais ils n'en modifient pas la nature. Ils permettent pourtant de la formuler en des termes peut-être mieux généralisables : la dualité différenciation-coordination est la face active de *la dualité autonomie-solidarité* dont on a reconnu par ailleurs la *complexité. Si* l'enrichissement de notre intelligence de la notion d'autonomie d'un système devient perceptible — et formalisable —, il semble qu'il n'en aille pas encore de même de notre capacité à représenter la *solidarité* et la *complexité* de ses formes : le modèle (si simpliste) du *réseau hiérarchique de commandement* a longtemps constitué le seul modèle disponible (au demeurant non complexe par construction). Ses faiblesses théoriques et pratiques sont chaque jour plus patentes, mais il a tant imprégné les cultures des modélisateurs qu'il est difficile encore de s'en débarrasser. Il apparaît pourtant que les modèles en *boucles*, qu'il s'agisse des *hiérarchies enchevêtrées* et des *boucles étranges* de D.

Hofstadter (1980), des *hypercycles* de M. Eigen [1], couplages mutuels d'actions catalytiques, et plus généralement des modèles de communications *interactives*, *relayées* par des cellules d'intermédiation (décodages-recodages), nous apporteront bientôt quelques profonds renouvellements de nos capacités de représentation des solidarités *autonomisantes et* des *autonomies solidarisantes* [2] : ce que Jacques Attali [3] a appelé des *sociétés relationnelles*, des sociétés suffisamment complexifiées pour pouvoir écouter et donc créer. On retrouve ici, sans surprise, la nécessité d'une reconnaissance des fonctions fondatrices du *système de mémorisation* (intermédiateur temporel par excellence) et les difficultés que peut prévoir le modélisateur aussi longtemps que nos capacités de conceptualisation des processus de mémorisation ne seraient pas développées plus avant. Mais, sans surprise aussi, en arrière-plan de cette explicite réinclusion du tiers (le mémorisant) dans la relation entre l'organisant (le solidaire ?) et l'organisé (l'autonome ?), se profile, la remise en question des logiques exclusives (dites classiques), qui handicapent par trop le modélisateur soucieux *de bien conduire sa raison.* Pourra-t-il longtemps buter sur *l'obstacle du paradoxe de l'autonomie* [4] que l'on a plus d'une fois dû évoquer, en se résignant à l'impuissance à laquelle le contraindrait une exclusive logique qui n'est sans doute pas aussi exclusivement naturelle qu'on nous l'assure ? Nouvelles frontières de la connaissance : nouveaux projets pour la construction de la connaissance. Il s'agit de représenter les transformations internes de l'organisation d'un système en général, au fil du temps.

---

1. Le biophysicien allemand Manfred EIGEN (prix Nobel 1967) a introduit une théorisation de l'auto-organisation fondée sur le concept des hypercycles (couplages mutuels d'actions catalytiques) rendant compte de processus d'autonomisation par sélection stabilisante dans un espace substrat, par un article publié en 1971 : Self Organization of matter and the evolution of biological macro-molecules (dans *Die Natur Wissenschaften,* n° 58, octobre 1971, p. 465-523). On trouvera une présentation en langue française de la théorie des hypercycles dans la revue *Pour la Science,* juin 1981, p. 102-122 : L'origine de l'information génétique, par M. EIGEN *et al.*

2. On a déjà mentionné la contribution de J. VOGE à cette présentation de l'économie de la complexité fondée sur la dualité « autonomie-solidarité » qu'on lui emprunte ici : *Le nouvel ordre économique de l'information et de la communication,* DGT PTT (Paris, novembre 1981).

3. J. ATTALI, *La parole et l'outil* (1975). J.-P. DUPUY (1982) a proposé une discussion critique du concept de société relationnelle (p. 74-80), qui n'épuise pas le sujet.

4. On emprunte cette formule à J.-P. DUPUY (1982), p. 120. Voir aussi, sous le titre Le paradoxe de l'autonomie, une trop brève présentation du thème central du t. II de *La Méthode* d'E. MORIN, par J.-L. LE MOIGNE, dans *Le Monde,* 19 décembre 1980, p. 24.

CHAPITRE 12

		A	S	E
3	**F**	4	7	10
2	**O**	5	8	11
1	**G**	6	9	**12**

l'évolution créatrice... de l'organisation systémique

1. La dialectique de l'évolution : logique ou créatrice ?

Ce dernier panneau du dernier volet des deux triptyques sur lesquels s'est déployée la Théorie du Système Général est sans doute le plus délicat. Sa présentation nous fait sans cesse effleurer une Théorie Générale des Systèmes (... ou de l'évolution, ou de l'organisation...) dont nous n'avons pas voulu reconnaître encore la validation (cf. chap. 2, p. 59). Le basculement est tentant, en permanence, d'autant plus que la plupart des contributions auxquelles nous pourrons faire appel sont œuvre d'auteurs qui, quant à eux, postulent cette validation scientifique. L'ignorer pourtant eût constitué une inadmissible solution de facilité, et une démission intellectuelle (une nouvelle *trahison des clercs*), devant les hommes d'action qui savent, dans leur chair, que *les organisations ne peuvent être abandonnées à leurs évolutions : autant que faire se peut, il leur faut les concevoir.* Le propos de R. K. Stamper (1973, p. 13) visait certes l'organisation des systèmes sociaux. Mais ne sont-ils pas ceux que nous privilégions (délibérément) dans cette entreprise de construction de la Théorie du Système Général ? Avec l'espoir que parfois, passant du *système général au système social* (titre de l'ouvrage de F. K. Berrien, 1968), nous saurons mieux l'interpréter, puis le concevoir. Ne sont-ils pas aussi *les seuls systèmes intrinsèquement morphogénétiques, en raison de leur ordre élevé de complexité, de leur liberté sémiotique, de la nature de leur mémoire* (A. Wilden, 1972, p. 369).

Concevoir l'évolution du Système Général, de son organisation ? La formule relève du défi, voire du paradoxe intellectuel, surtout si l'on entend le verbe concevoir dans son sens fort : construire, créer (*Le mot « construction » que j'emploie à dessein,* écrivait P. Valéry, *pour désigner plus fortement le problème de l'intervention humaine dans les choses du monde* [1]). Ce que nous ferons bientôt ! Ne tient-on pas usuellement pour acquis que l'évolution ne se conçoit pas, mais au contraire obéit, subit une logique : *Décrire un système vivant, c'est se référer aussi bien à la logique de son organisation qu'à celle de son évolution* (F. Jacob, 1971, p. 321. On ne trahirait pas le sens de la phrase en remplaçant système vivant par Système Général).

C'est sur cette dialectique de la logique de l'évolution et de l'évolution créatrice que l'on peut, semble-t-il, défroisser, sans trop le déchirer, le tissu qui porte le dessin esquissé et encore inachevé des *pentes de ce paysage épigénétique que dévale l'objet* Système Général... *avant de se détacher en gouttelettes indépendantes : une grande variété de modèles hydrauliques* : l'image de C. P. Bruter (1976, p. 28) éclaire bien notre démarche. Les modèles hydrauliques des flux processés, par lesquels s'est amorcée notre perception du Système Général (cf. chap. 4), nous ont conduit à identifier leur organisation puis à convenir de leur genèse, en tentant de les décrire par les *modèles épigénétigues* des champs développés par *les bassins associés aux attracteurs* (cf. R. Thom, 1972, p. 57 [2]).

Système froid ou compliqué, chaud ou complexe

Une image célèbre reprise par A. Wilden (1972, p. 410) permet de typifier assez heureusement les deux termes de cette dialectique : celle du système froid dont la conscience consiste en la trace d'un seul événement, son origine, qui explique tous les autres, opposé au système chaud... qu'il ne définit guère, mais que nous pourrons assez commodément reconnaître comme « le complément du système froid dans l'ensemble des systèmes généraux »... : soit en pratique comme les systèmes généraux dotés de propriétés actives auxquels on fera souvent appel pour construire des modèles homomorphes des systèmes sociaux !

---

1. P. VALERY, in *Introduction à la méthode de Léonard de Vinci* (1894) ; éd. NRF, coll. « Idées », 1968, p. 68. Sur le thème de la conception entendu comme une création, on pourra se reporter à une réflexion sur la traduction du mot anglais *design* dans la postface que j'ai rédigée pour la traduction française de *La science des systèmes, sciences de l'artificiel* de H. A. SIMON (1969-1974).

2. On se borne à regret à ces brèves allusions — probablement trop élusives pour bien des lecteurs — relatives à la contribution épistémologique de la théorie morphogénétique (ou théorie des catastrophes) dans les termes où les présentent R. THOM et surtout C. P. BRUTER (1976). Voir aussi E. ZEEMAN (1975) et R. RIBEILL (1976). Il importait pourtant de « lancer le pont » et de préparer l'insertion quasi spontanée de cette contribution essentielle au plein épanouissement de la Théorie du Système Général (cf. aussi chap. 12, p. 259, n. 1).

Il est sans doute bien des façons d'argumenter cette classification apparemment arbitraire et dé-généralisante. On s'est efforcé jusqu'ici de n'y point faire appel et d'ignorer les nombreuses typologies des systèmes proposées par bien des chercheurs, trop vite oublieux nous semblait-il de l'importance théorique et pratique de la généralité du Système Général ! Il est certes utile de développer des théories différentes de systèmes isomorphes d'objets différents (de la « théorie des systèmes linéaires » ... à la « théorie des systèmes évolutifs » par la « théorie des systèmes asservis »). Mais tel n'est pas l'objectif de la Théorie du Système Général [1]. Il semble pourtant préférable de consentir une exception ici, pour simplifier l'exposé et pour délimiter plus explicitement le passage de la loi observée ou déduite à l'hypothèse modélisatrice : généralité n'est pas synonyme de confusion ou laxisme, si l'on veille à préciser les conditions et le langage des généralisations.

On peut, pour ce faire, retenir un critère descriptif, moins littéraire que celui proposé par A. Wilden pour différencier le Système Général en système froid et système chaud : celui du passage de la complication à la complexité (nous l'avons déjà rencontré et caractérisé, dans la description de la structure en réseau, chap. 5, p. 119).

Un Système Général est complexe (ou chaud) lorsque la diversité de ces activités fonctionnelles n'implique pas nécessairement une diversité corrélative des processeurs qui le constituent : s'il compte moins de processeurs différents que de fonctions, c'est que le réseau connectant ces processeurs est fortement intégré et présente de nombreuses boucles de rétromettances.

Un Système Général est compliqué (ou froid), lorsqu'une grande diversité des processeurs qui y interviennent n'implique pas une diversité corrélative des fonctions qu'il exerce : même fortement différencié, son réseau est peu intégré et se présente pour l'essentiel sous forme arborescente [2].

---

1. Ces typologies étant parfois suggestives et susceptibles de féconder l'imagination du modélisateur, on a cependant cru bien faire de présenter succinctement en annexe un certain nombre de celles que nous avons rencontrées au fil de nos lectures.

2. Cette différenciation complication-complexité est encore peu admise dans la littérature systémique, qui ne semble pas avoir encore perçu sa fécondité. Citons pourtant, outre L. Gérardin (cf. chap. 5, p. 91), un article parfois confus, mais bien documenté, de B. H. MARTIN : « Aperçus sur la complexité », in *Électricité, électronique et systèmes* (nouvelle série, n° 1/185, mars 1976, p. 23), et surtout un texte de J. P. DUPUY que je découvre *in extremis* : « Autonomie de l'homme et stabilité de la société », à paraître in *Économie appliquée* ([a]).

La reproduction : remarquable outil de modélisation

Les systèmes généraux froids, qui s'interprètent par leur *unique* origine ou leur *unique* projet, sont passibles de bon nombre des lois que les thermodynamiciens et les biologistes ont forgées pour interpréter l'évolution structurelle des systèmes physiques ou vivant Th. Vogel est fondé à présenter les modèles correspondants comme des « modèles héréditaires » : l'écoulement sans cesse ramifié des *générations* fait de la *reproduction une des caractéristiques les plus importantes du mode de fonctionnement d'un système* (Y. Barel, 1973, p. 50). *La reproduction n'est* sans doute *pas définie par une réplication identique ; au contraire : la reproduction implique différenciation, croissance, développement (continu ou discontinu). Mais il y a quelque chose qui ne change pas, au sein de toute reproduction : ce quelque chose est la capacité du système à préserver pour un temps l'intégrité de sa relation à son environnement, et à se comporter comme si son but était de préserver cette intégrité* (Y. Barel, 1974 p. 93). C'est même cette unique finalisation (préserver l'intégrité de la relation) qui peut faire dire à H. Lefebvre (cité par Y. Barel, 1974, p. 58) *qu'on pourrait réserver le mot « système » aux structures qui reproduisent leurs propres éléments dans une régularité périodique...*

Nous pouvons alors faire bénéficier les systèmes généraux froids de tous les travaux développés par les zoologistes et les embryologistes, et faire ainsi de la reproduction un remarquable *outil d'analyse* selon le mot d'Y. Barel (1973, p. 459) (ou plutôt : outil de modélisation). Nous pourrons en particulier prendre appui sur l'hypothèse aujourd'hui parfaitement étayée que la reproduction est un *phénomène informationnel* pour rendre compte de la nécessité pour le Système Général de différencier en son sein des « générateurs d'informations » rendant compte de sa structure et de ses programmes, et reconsidérer en conséquence les conceptions traditionnelles de ces systèmes d'information qui génèrent, stockent et transmettent ces informations présumées invariantes.

Cette reconception nous fera sans doute mieux percevoir que *la reproduction est un phénomène contradictoire, assurant à la fois l'identique et le différent* (Y. Barel, 1973, p. 35) : L'identique, c'est l'image de la *structure* intégratrice, garante de la *cohésion* du Système Général. Le différent, ce sera souvent la diversification des *programmes* disponibles en mémoire, garante de la *cohérence* (ou plutôt des cohérences possibles) du système [1].

---

1. Cette distinction de la *cohésion* (de la structure) et de la *cohérence* (des programmes) est semble-t-il une idée neuve et féconde : les deux paramètres dont dispose l'organisation pour assurer sa coordination sont bien l'action sur sa morphologie (sa cohésion donc) ou sur ses bandes programmes (sa cohérence donc). Je la trouve proposée par B. H. MARTIN (1976, cf. n. 2, p. 206) qui la présente malheureusement de façon assez confuse par un détour arbitraire et croyons-nous

Les trois évolutions archétypales

Cette deuxième facette de toute reproduction sera bien sûr celle que nous privilégierons lorsque nous considérerons les systèmes généraux chauds ou complexes. Mais, on le devine, nous serons bien moins armé conceptuellement pour anticiper leur évolution : *Lorsque le système n'est bas fatal (ni amphidromme ou réversible, ni héréditaire), on ne peut rien dire en général sur la nature de son espace des causes,* conclut avec probité un des théoriciens de la dynamique des systèmes, Th. Vogel (1965, p. 10), qui allait préparer le terrain sur lequel allaient pouvoir s'épanouir peu après les travaux de R. Thom et C. P. Bruter.

Ces derniers allaient, on l'a vu, reprendre l'interprétation de l'évolution du système à partir de la considération générale de la stabilité structurelle (sur laquelle avait achoppé Th. Vogel, 1965, p. 28), en formalisant le concept (hydraulique, toujours !) de fonction de potentiel en quête de quelque extrémum stable [1]. Que la sauvegarde de cette stabilité se fasse par une des trois *évolutions archétypales de repli sur soi (la contraction du volume du domaine d'action, du bassin), de fuite (ou répulsion), ou de capture partielle ou totale !* (laquelle souvent débouchera sur une *complexification* du Système Général) (cf. C. P. Bruter, 1974, p. 23-24).

Parmi les formes de *captures stabilisatrices, une des plus familières est l'évolution par symétrie : La nature a tendance à stabiliser un objet en le doublant, en liant entre eux l'objet et sa réplique par un dispositif de régulation transverse à chaque objet* (C. P. Bruter, 1976, p. 35). Cette transversalité de la régulation appellera à son tour d'autres considérations dont la formalisation n'est

---

inutile, sur *la quadruple participation des complexités structurelles, fonctionnelles, cybernétiques et énergétiques !*

1. Peut-on résister au besoin de présenter ce modèle hydraulique dans les termes où l'expose R. THOM (1972, p. 224), mariant précision, poésie et humour ! : *On suppose que le paysage défini par la fonction d'altitude V_1 (x) est inondé sous une nappe d'eau de hauteur C. Le paysage est alors un archipel sinueux, mais aux grands réflexes correspondent de grands passages rectilignes, itinéraires parcourus de bout en bout par des lignes de navigation. Faisons décroître alors la hauteur C de la nappe d'eau : tous ces passages seront obstrués d'un après l'autre par des cols qui sortiront de l'eau successivement. L'eau se retire dans les vallées où elle forme des fjords tortueux ; C décroissant, on n'obtient plus à la fin qu'une nappe d'eau à contour circulaire recouvrant l'origine, le point germinal, à la cote la plus basse. Lors du développement (de l'évolution) on a un processus inverse...* On passe ainsi, par dualité, du paysage hydraulique (ou géographique) au paysage épigénétique. C. P. BRUTER dans l'appendice I de (1976) présente « la notion de paysage épigénétique » comme une initiation il la théorie élémentaire des catastrophes, résumant ainsi le § II, 14 de BRUTER (1974).

pas encore achevée [1] ; en témoigne cette remarque originale du thermodynamicien L. Nikolaiev (1973, p. 36). Pourquoi les systèmes primaires qui précèdent l'apparition de la vie ont-ils commencé par se développer dans la voie des systèmes régulateurs, le « matériel » dont ils se servaient étant resté presque invariable ?

Le formalisme apporté ici par la théorie des catastrophes élémentaires de R. Thom constitue sans doute la voie la plus prometteuse ouverte aujourd'hui à la modélisation systémique des objets évoluant. On ne peut ici que souligner son importance (outre les références rappelées en note 2, p. 256, on peut indiquer au lecteur béotien un exposé d'initiation clair et imagé de R. de La Taille, in *Science et vie ;* févr. 1976, p. 30-35 : « Les sept catastrophes du monde »).

L'ontogenèse récapitule la phylogenèse

La fécondité de la théorie des catastrophes à rendre compte de la dynamique structurelle du Système Général résulte de ce que *l'on croit en la validité de la loi de Herder-Haeckel selon laquelle l'ontogenèse récapitule la phylogenèse* (C. P. Bruter, 1976, p. 237) ; *philogénie et ontogénie se décrivent par les mêmes modèles. Ce résultat est évidemment très satisfaisant pour l'esprit* (*ibid.,* p. 29). Même s'il n'est pas fondé ! Ou même s'il ne l'est que pour les systèmes généraux froids, dont on peut toujours analyser l'évolution par une sorte d'arbre généalogique ! (arborescence = absence de boucles = complication = système froid). La figure 12.1 reprend une figure dessinée par C. P. Bruter (1974, p. 35) qui résume mieux qu'un exposé la teneur de cette loi, *a priori* fort riche, pour guider le modélisateur, *mais dont le bien-fondé est difficile à établir avec rigueur* (*ibid.,* p. 36). H. A. Simon dans son essai sur l'architecture de la complexité (architecture souvent arborescente, ou quasi arborescente, ce qui permet au modélisateur de « se ramener d'une situation complexe à un modèle simplement compliqué »), avait, dès 1962, parfaitement montré la richesse... et perçu les limites de cette « loi » : Dis-moi quelle est ton histoire, ou celle de ton espèce (philogénie), je te dirai quelle est ta structure vraie (ontogénie) [2] :

---

1. La maxime philosophique que R. Thom énonce « *tout manque de stabilité est dû à un défaut de transversalité* » en montre la signification profonde (C. P. BRUTER, 1974, p. 238). On pourra aussi consulter avec intérêt G. RIBEILL (1973) qui propose une modélisation de la dynamique de la stabilité intéressante.

2. Soulignons incidemment que c'est en nous appuyant sur cette loi que nous avons pu construire le chapitre 6 : Le développement du projet du Système Général. Elle était en effet sous-jacente aux modèles de BOULDING (1956), de L. von BERTALANFFY (1968-1974), de H. GRENIEWSKY (1960-1965, p. 36), de NIKOLAIEV

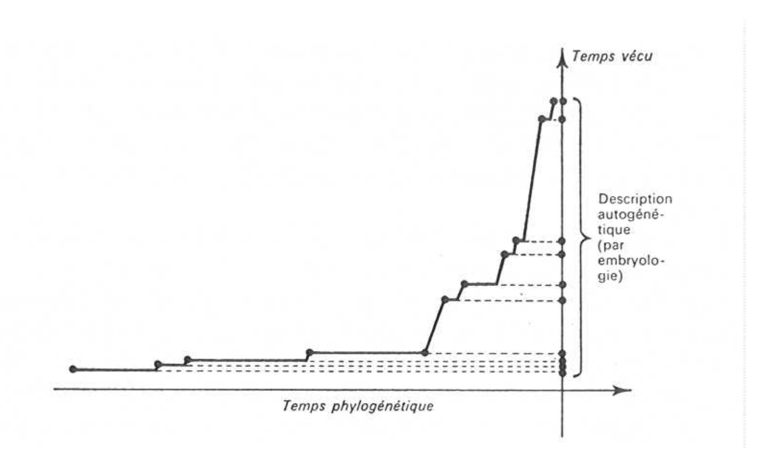


FIG. 12.1. — *L'ontogenèse récapitule la phylogenèse*
(Repris de C. P. BRUTER, 1974, p. 35)

Cette généralisation, qui nous autorise à présumer que l'ontogénèse récapitule la phylogénèse dans les systèmes en évolution dont les descriptions sont mémorisées selon un processus codé, a des applications dans d'autres domaines que celui de la biologie. Elle peut être appliquée par exemple à la transmission de la connaissance dans le processus éducatif… (H. A. Simon, 1969-1974, p. 138).

2. Une valeur critique du niveau de complexité

Ainsi se développe un corps d'hypothèses précieux pour la modélisation des systèmes généraux froids : Les « lois » qui gouvernent leur évolution sont des lois « structurantes » sinon « organisatrices » : la solution, ou plutôt la régulation, de l'évolution structurelle se fait par organisation régulière, progressive, du Système Général lui-même : *L'évolution des objets s'accompagne non seulement d'une différenciation progressive, mais également d'un regroupement en noyaux des parties ayant des propriétés fonctionnelles semblables* (C. P. Bruter, 1976, p. 36). L'évolution des systèmes froids se fait par structuration (arborescente) croissante ou

(1973, p. 34) sur la convergence desquels nous nous sommes appuyés. La méthode de modélisation dite du *baby-system*, ou du gonflement de la membrane que nous avons présenté au chapitre II (p. 243) repose également sur cette loi !

décroissante, et le développement de cette structure est la condition d'ultérieures évolutions : les instabilités (cf. H. Pattee, 1973, p. 151) ou les perturbations (cf. H. Atlan, 1972, p. 281) ne sont plus perçues comme destructrices, mais comme génératrices d'évolution par auto-organisation du Système Général. (*L'évolution est une augmentation de programme,* conclura F. Jacob, 1970, p. 330).

Les limites de ces hypothèses si *satisfaisantes pour l'esprit* se font pourtant vite sentir. À son insu, semble-t-il, H. Atlan (1972, p. 284) en a eu l'intuition au terme de ses *Essais de définition de l'organisation biologique* auxquels nous avons déjà fait largement appel (cf. chap. 10, p. 232) : *Le « rêve » d'une cellule n'est donc ni de se reproduire (F. Jacob), ni de jouir de son métabolisme (E. Morin* [1]*), ni d'assimiler le milieu extérieur (J. Piaget), mais, « comme tout le monde », de « se reposer » dans un état d'énergie libre minimum, c'est-à-dire de mourir. Seulement, par suite du délassement d'une valeur critique dans le niveau de complexité des systèmes naturellement constitués qui lui ont donné naissance, elle est ainsi faite que pour le réaliser elle ne peut faire autrement qu'assimiler et se reproduire.*

Rien sans doute ne justifie scientifiquement ce : « elle ne peut faire autrement qu'assimiler et se reproduire » dès lors qu'on se propose de l'appliquer au Système Général (est-il d'ailleurs véritablement « prouvé » dans le cas de ce système particulier qu'est une cellule ?). Mais l'hypothèse qu'un *dépassement d'une valeur critique dans le niveau de complexité du système* va affecter les conditions de l'évolution de ce système (ne serait-ce qu'en complexifiant les projets auxquels il réfère son évolution) rend bien compte de l'expérience des modélisateurs : il y a un « seuil », celui qui sépare la complication de la complexité, où les lois d'évolution auto-organisatrice auxquelles nous nous référions semblent se nuancer toujours. Le modélisateur inattentif à cette transition du système froid au système chaud se condamne à bien des déboires... ou devient un bien dangereux technocrate !

Le temps est invention...

Quelques-uns des thèmes directeurs demeurent sans doute, mais les formalisations qu'ils appellent sont à peine amorcées. *Enfermé dans la logique et pauvre en intuition globale,* J. Monod (1971, p. 40) se déclarait même *incapable de les discuter* [2]. Le prix auquel il payait

1. In *Le Nouvel Observateur,* déc. 1970.

2. La phrase de J. Monod se rapporte exclusivement à la philosophie de Bergson : nous proposerons dans quelques lignes de considérer précisément cette philosophie comme une des pièces historiques maîtresses de cette entreprise de formalisation de la modélisation des systèmes généraux chauds.

ainsi une définition étroite de la logique réductionniste et causaliste nous semble insupportable... et l'argument a été décisif pour nous inciter à libérer la raison des artifices d'une rigueur astreinte... sans raison... au *postulat de l'objectivité d'une nature* interminablement réductible !

L'entreprise pourtant déjà est en chantier, et c'est sans doute H. Bergson qui, dès 1907, en a posé les premières pierres, en un grand texte qu'il faut aujourd'hui relire : non pour lui demander des réponses, mais une inspiration renouvelée pour redéfinir le projet ; quelques lignes de *L'évolution créatrice* (p. 316) le feront peut-être aisément percevoir : *Le peintre est devant sa toile, les couleurs sont sur la palette ; nous voyons tout cela, et nous connaissons aussi la manière du peintre ; prévoyons-nous ce qui apparaîtra sur la toile ? Nous possédons les éléments du problème ; nous savons, d'une connaissance abstraite, comment il sera résolu, car le portrait ressemblera sûrement au modèle et sûrement aussi à l'artiste ; mais la solution concrète apporte avec elle cet imprévisible rien qui est le tout de l'œuvre d'art.*

Et c'est ce rien qui prend du temps. Néant de matière, il se crée lui-même comme forme...

Le temps est invention, ou il n'est rien du tout.

Le temps est invention, et non plus seulement longueur. L'évolution est créatrice et non plus seulement logique. Elle est la condition d'une création, ou d'une conception, de programmes... inattendus, qui organiseront le dessin en une œuvre d'art, la composition en une symphonie, la structure en une organisation sans cesse renouvelée. Le temps devient, redevient plutôt, la condition de la conception évolutive. Il faut du temps pour concevoir et reconcevoir l'intrication des programmes par lesquels les interventions du système assureront ses projets. La hantise de la préconception, du règlement immanent, de l'unique trajectoire optimum, dessinée à l'avance en regard d'un calendrier, ne nous est en rien imposée par la science, mais par un modèle culturel qui ignore l'évolution créatrice.

En toute connaissance de notre ignorance...

Il y a des moments dans l'histoire où nous devons simplement agir, en toute connaissance de notre ignorance des conséquences possibles, mais pour demeurer tout à fait rationnels nous devons, incertains, porter la charge de l'action, et nous devons toujours nous donner la possibilité de reconnaître nos erreurs passées et de changer

le cours de notre action. Cette interpellation de l'illustre économiste K. Arrow (1974-1976, p. 34) éclaire exactement le propos : se donner la possibilité de changer le cours de l'action, de changer ce qui aurait dû être *l'évolution du système froid*, c'est, conclut K. Arrow, organiser le système, et l'organiser *en tant qu'opérateur d'information* : en tant que programmateur donc. Il proposera l'expression assez heureuse d'agenda de l'organisation pour rendre compte de cette traduction permanente des projets en programmes, et il identifiera brillamment les limites que rencontrent alors les organisations sociales (on saura aisément les généraliser en caractérisant ainsi le Système Général).

Fonction téléologique et champ de finalisation

En analysant succinctement les facteurs qui déterminent les agendas, K. Arrow souligne conjointement le rôle du codage et celui de l'Histoire (avec un H majuscule), sans pouvoir les approfondir dans le cadre limité d'un essai ayant d'autres objectifs. L'allusion nous suffit pourtant pour retrouver un des concepts les plus permanents du Système Général : la construction, au cours de l'évolution, de programmes ou d'agendas se fait en référence aux projets — aux finalités donc — du Système Général. L'imprévisibilité de l'évolution est plus dépendante de l'imprévisibilité des changements de projets que des délais d'invention de nouveaux agendas au fil du temps (il est tant de cohérences possibles !). Cette évolution des projets est-elle, en dernier recours, le refuge le plus sûr de l'arbitraire et du caprice dans notre modélisation de l'évolution du Système Général ? Il semble permis aujourd'hui de resserrer davantage encore le domaine d'investigation. Pour ce faire prenons un instant à la lettre une proposition de C. P. Bruter (1976, p. 32) : *Tout objet possède une fonction d'énergie*[1]*. Il faut éviter de se laisser enfermer dans une compréhension trop étroite de l'énergie et accepter d'employer ce concept parfois un peu vague, dans des situations plus générales. Riche en actualisations possibles, il est susceptible d'ouvrir des voies nouvelles de réflexion.*

Suggérons par exemple d'interpréter ce concept comme celui d'une fonction téléologique qui se valoriserait dans les champs de finalisation que développe le paysage épigénétique dans lequel se déploie l'évolution structurelle du Système Général : nous disposerons alors d'un support conceptuel commode pour rendre compte de la dynamique des normes au sein de l'organisation (dans les termes où la présentent p. ex. P. Tabatoni et P. Jarniou, 1975, p. 192 et M. Shakun, 1975), ou de la dynamique des codes (dans les termes où la présentent K. Arrow, 1974-1975, p. 66 ou L. Sfez, 1973). Nous pourrons alors

---

1. E. Zeeman parle plus volontiers de *fonction d'énergie* là où R. Thom parlait de *fonction de potentiel*. Les deux mots se réfèrent au même concept.

interpréter ce propos de l'historien A. Toynbee [1], dont nous pressentons la pertinence sans pouvoir encore l'argumenter : *Il est paradoxal, mais profondément vrai — et d'une importance pratique quotidienne — que le moyen le plus prometteur pour atteindre un but n'est pas de poursuivre ce but lui-même, mais quelque but plus ambitieux encore, au-delà.*

Ainsi peut-être pourrons-nous modéliser plus richement les deux termes de la dialectique dans laquelle nous croyons pouvoir interpréter l'évolution structurelle du Système Général : froid, nous entendions l'organisation comme solution, ou *régulation de l'évolution.* Chaud, il nous faudra l'entendre comme *sources des tensions provoquant (évolution,* générant une *demande de politique* [2] s'exprimant par des modifications de la fonction téléologique : *La politique est le choix d'un système de normes qui détermine les processus de finalisation, d'organisation et d'animation et leurs modes d'interaction... Une nouvelle politique débouche sur une nouvelle conception du type du potentiel désiré... Cette nouvelle politique n'existe que lorsqu'elle est suffisamment signifiée, pour révéler les normes nouvelles...* (P. Tabatoni et P. Jarniou, 1975, p. 216). Pour évoluer, il importe que l'organisation engendre des conflits, des différences de potentiels entre normes, lesquels alimenteront *le moteur informationnel du Système Général, savoir alimentant avec retard le pouvoir,* en reprenant une image chère au biophysicien B. Rybak (1974).

Reculer, encore, les limites de la théorie

Hypothèses, hypothèses que tout cela ! C'est sans honte que nous en convenons : au risque de nous faire accuser de *battre la campagne de l'épistèmé, faute d'une suffisante autocritique préalable !* (B. Rybak, 1973, p. 222). Qu'on les évalue au poids de leur utilité dans la modélisation des systèmes chauds, et à la qualité des formalisations prometteuses de rigueur qualitative qu'elles autorisent ou qu'elles autoriseront. Nous avons conscience d'atteindre ici les limites de la Théorie du Système Général. N'est-il pas possible de les reculer un peu, encore un peu ? Sur cette conviction et cet appel, nous pouvons interrompre plutôt qu'achever cette entreprise.

Puisse le lecteur pensif la faire sienne dans l'exercice quotidien de son intelligence toujours, toujours, modélisatrice : *Le feu se repose en changeant* (Héraclite [3]) en changeant dans le temps. Ce temps qui est invention.

---

1. Citée dans le bulletin n° 3 de *Human System Management.*

2. J'emprunte cette formule heureuse à F. Metaxas : cours enseigné à l'Université d'Aix-Marseille III.

3. Cité par R. THOM, 1972, p. 108.

▶ Relecture

Des modèles des phénomènes perçus ou conçus dans le temps et dans l'espace, nous disons volontiers qu'ils sont des *représentations,* L'exceptionnelle multivalence de ce concept de représentation, qui met en scène *à la fois le représentant et le représenté* [1], devient à nouveau notre point d'appui : représenter, c'est aussi re-présenter, présenter à nouveau, après qu'un temps soit écoulé, en acceptant donc que la re-présentation ne soit pas nécessairement un duplicata ; une copie conforme. Re-présenter, c'est proposer une représentation qui porte en elle-même sa légitimation : *elle a mémoire et projet ;* et elle fonde sa légitimité sur sa cohérence avec son histoire et ses devenirs. Re-présentée, cette représentation est encore elle-même, elle assure son identité, elle suggère l'identité du phénomène qu'elle représente. Cette capacité de la modélisation systémique de ne pas *trivialiser,* de ne pas *arrêter* le phénomène modélisé constitue sans doute sa vertu la plus étonnante, au moins dans les cultures qui ont mythifié la connaissance positive. N'est-elle pourtant pas raisonnable ? Connaître, c'est re-connaître un nouveau modèle ; et modéliser, c'est re-présenter un modèle re-modelé, une organisation ré-organisée. *Cette racine RE nous apparaît, dès le premier regard, d'une étonnante richesse,* souligne E. Morin (1980, p. 333) parce que *Auto-organisation et Eco-organisation sont... fondamentalement des RÉ-organisations.* RE est le symbole de cette *boucle étrange* [2] qui fonde le Système Général et la représentation de la connaissance que nous lui demandons, *merveille d'invariance qui doit à chaque instant être recommencée, régénérée,* synthèse peut-être qui nous permet de rendre compte de cette permanente *autodestruction* qui *à la fois* suscite et est suscitée par une permanente RE-auto-eco-organisation. Boucle à la fois familière et malaisément intelligible dans nos logiques disjonctives, qui veulent qu'un système soit ou vivant, ou mort, ou froid ou chaud, ou détruit ou construit, et jamais *à la fois* et vivant et mourant, et ordonné et désordonné, et unique et multiple ! Cette irréductibilité à la classe unique, à l'idée claire et simplificatrice, appelle une reconnaissance de la boucle étrange sur laquelle se fonde la spirale de la modélisation systémique : le RE est la boucle, celui de la récursion, restauration et rénovation à la fois ; puisque nous pouvons l'exprimer et le réfléchir

---

1. La dialectique du représentant et du représenté a été mise en valeur par J. LADRIERE dans l'article Représentation et Connaissance de l'*Encyclopedia Universalis* (1973) (cf. p. 72). Y. BAREL (1982) poussera plus avants la métaphore en soulignant notamment : *La représentation concerne toujours trois « personnages », et non deux comme on pourrait le penser : le représentant, le représenté, et celui auprès duquel on fait la représentation. Mais elle se présente comme un télescopage, superposition de deux des personnages sur trois en la personne du représentant* (p. 188). *Dans ce jeu triangulaire de la représentation,* Y. BAREL proposera de reconnaître le paradoxe de l'autonomie que l'on a évoqué précédemment (cf. chap. 11, p. 254).

2. On a déjà emprunté cette formule, destinée à raviver l'étonnement et l'émerveillement, à D. HOFSTADTER (1979).

dans nos pratiques modélisatrices, ne pouvons-nous le formaliser assez pour nos pratiques cognitives et leur économie ? Que l'on parle de logiques récursives manipulant à la fois le producteur et le produit, ou de logique de l'organisation [1], manipulant à la fois l'organisant et l'organisé, c'est à ce déploiement de l'intelligence que nous appelle la reconnaissance de la complexité perçue intelligiblement à laquelle nous invite la modélisation systémique des systèmes créateurs de leur propre histoire. Les limites reculent encore un peu, révélant par là même de nouveaux territoires à explorer…

Notes complémentaires pour la deuxième édition

([a]) Les relectures 1983 ont conduit à plusieurs reprises à revenir sur cette distinction complication-complexité qu'on ne mentionnait qu'in *extremis* lors de la rédaction originale. Voir notamment les relectures des chapitres 8 et 10.

([b]) Ce paragraphe est ajouté pour la seconde édition.

---

1. On a proposé quelques développements de ce que pourraient être des logiques de l'organisation dans un travail non encore publié : *Formalisations systémiques de la théorie de l'organisation : vers des logiques de l'organisation* (GRASCE, CNRS, 640, NR 82 02).

conclusion

1. Conception, analyse et simulation de système

Les neuf volets sur lesquels s'est déployée la Théorie du Système Général présentent le faisceau imbriqué des propriétés dont nous avons arbitrairement doté l'objet artificiel Système Général. On croit avoir montré ainsi la cohérence mutuelle de ces propriétés, tout en soulignant au passage celles qui devraient être davantage explorées. Cette nécessaire exploration révèle la contingence de la théorie ; pouvions-nous attendre une perfection peut-être inaccessible pour l'exposer ? En l'état, elle s'avère utilisable et fructueuse, tant pour les hommes d'étude que pour les hommes d'action, dès lors qu'ils acceptent de remettre en question le modèle culturel que leur imposait l'ancien discours. Ils conviennent alors que leur intention est bien plus de concevoir des modèles du réel que d'analyser un réel peut-être insaisissable et sûrement changeant.

Pour ce faire, le balayage consciencieux des neuf modules agençant les propriétés de l'objet Système Général leur permettra de systémographier... systématiquement. L'exercice ne leur est sans doute pas familier ? Suggérons-leur d'essayer : le processus d'apprentissage est en général rapide ; et demain peut-être apprendrons-nous dans nos écoles à modéliser comme nous apprenons aujourd'hui... à analyser : la systémographie deviendra notre prose... Son bon usage nécessitera bien sûr que ce Système de Représentation que constitue chacun de nous explicite davantage ses propres projets. Ce modèle que nous dessinons est-il destiné à concevoir quelque objet artificiel ? (fût-il une organisation humaine !) ou à nous aider à mieux connaître tel objet que nous observons ? ou à nous permettre d'évaluer, par simulation, les conséquences de telles interventions envisageables sur ou dans tel autre objet ?

Trois projets différents : conception, analyse systémique (plutôt que réductrice), simulation, par un même outil : la systémographie. Son mode d'emploi changera pourtant, selon les cas, et nous ne serons pas surpris de ces différences : il sera « tolérable » que d'autres, ayant d'autres projets, utilisent différemment le systémographe !

On peut même augurer les « programmes » que nous mettrons en œuvre selon les projets que nous nous proposons :

S'il s'agit d'une conception, nous partirions d'une identification des finalités *(1)*, (projets), dans un environnement *(2)* et imaginerions ensuite une structure *(2)* qu'enfin nous ferions fonctionner *(3)* puis évoluer *(4)* (par rapport à ces finalités, dans cet environnement).

S'il s'agit d'une analyse, nous partirions des fonctions *(1)* ou des évolutions *(2)* que nous observons dans un environnement *(3)*, nous les interpréterions par rapport à quelques finalités *(4)* et nous en inférerions alors la structure *(5)* qui peut les assumer.

S'il s'agit d'une simulation, nous partirions d'une structure *(1)*, obtenue préalablement par conception ou par analyse, nous la ferions fonctionner *(2)* et évoluer *(3)* dans un environnement *(4)* et nous comparerions les résultats de cette activité simulée aux finalités *(5)* envisageables.

Trois points de vue et trois modes d'emploi parmi d'autres possibles... La figure 13.1 ci-dessous les récapitule, en visualisant les cinq concepts clés sur lesquels s'édifie l'objet Système Général, outil de modélisation.

	Finalités	Environnement	Structure	Fonctions	Évolutions
Conception	①	②	③	④	⑤
Analyse (systémique)	④	③	⑤	①	②
Simulation	⑤	④	①	②	③

FIG. 13.1. — *Trois modes d'emplois de la systémographie : conception, analyse et simulation de modèles*

2. La conception est une idée neuve *

Non sans hésitation, on a pris le parti de conserver dans sa rédaction initiale le texte de la conclusion de l'édition 1977 (§ 1, ci-dessus) : par probité bien sûr, mais aussi parce que son caractère instrumental a séduit de nombreux lecteurs qui ont bien voulu nous le faire savoir : il prétend en effet rappeler succinctement, mais pour l'essentiel, les « comment » : Comment systémographier ? Comment construire un modèle d'un phénomène perçu complexe par systémographie ? Le nouveau lecteur aura perçu quelques nuances de formes que l'on souhaiterait aujourd'hui introduire parler de « formes suffisamment stables » plutôt que de « structures » ou de ne pas disjoindre l'identification des finalités de celle de l'environnement : on ne perçoit que ce que l'on conçoit et on ne conçoit que ce que l'on perçoit ! Cette boucle étrange qui nous permet d'échapper au *positivement visible* — et donc au positivisme — est, on espère l'avoir suffisamment souligné dès le début, au cœur de la modélisation systémique. Ces précisions ne suffisent peut-être pas à susciter une réaction épistémologique peut-être abrupte : modéliser systémiquement c'est *concevoir* — puis construire — un modèle, œuvre d'architecte, de concepteur ; ce n'est donc pas *analyser*, décortiquer, disséquer une réalité objectivable, œuvre d'analyste manipulant son bistouri. La tentation est grande de « faire comme si », et de baptiser conception toute entreprise routinière et familière d'analyse (l'expression *analyse de système* a rendu, sous ce rapport, un bien mauvais service à la modélisation systémique : peut-on la réduire à une analyse plus poussée, à une décortication plus fine des interactions ? L'analyse *informatique* par exemple, telle que la présentent une trentaine de traités en langue française, n'est en aucune façon une *conception de système...* même lorsqu'elle utilise ce label toutes les trois lignes !). Mise en garde sans doute inefficace encore, tant l'imprégnation culturelle est intense : imprégnation au demeurant paradoxale, en particulier pour une communauté scientifique si soucieuse de rigueur formelle : l'analyse est au commencement de tout, nous assure-t-on *(la première phase !),* mais c'est aussi *une chose que l'on ne sait pas enseigner et dont il est docile de parler* [1] *!* Une formule de J. Arsac éclaire peut-être la difficulté et la différence fondamentale des démarches entre l'analyse et la conception.

L'analyste, écrit-il, est *l'homme capable de comprendre le problème qui se pose.* Le concepteur alors sera celui qui saura que les problèmes ne se posent pas tout seuls, et qu'il doit être capable de les poser. Modéliser systémiquement, ce n'est pas résoudre un problème supposé bien posé (un *objet*) en cherchant un *modèle* déjà formulé

---

* Paragraphe ajouté pour la deuxième édition.

1. J'emprunte cette formule au chapitre « L'analyse » (p. 158) du célèbre ouvrage de Jacques ARSAC qui a beaucoup contribué à institutionnaliser *La science informatique* (1970).

dans le portefeuille accumulé par les sciences depuis des millénaires ; c'est d'abord chercher à formuler — à identifier — le problème que se posent les modélisateurs (un *projet*), en mettant en œuvre une procédure de *modélisation* dont les règles sont intelligibles et acceptées. Cette *conception de la conception* implique, il est vrai, une conception de la connaissance plus *projective qu'objective* [1] ; elle sollicite davantage l'explicitation des axiomes que postule — *hic et nunc* — le modélisateur[2], elle appelle une reconnaissance de l'esprit créateur qui se sait formé par la raison qu'il forme. Cette libération épistémologique [3] serait-elle interdite ? La métaphore de la *lutte avec l'ange* surgit alors dans la méditation du modélisateur, vous, moi : *un peu d'ascèse alors ne lui sera-t-elle pas utile* [4] *?* N'est-ce pas cette ascèse qui fonde la supériorité de l'architecte, même médiocre, sur l'abeille, même experte [5] ?

---

1. Bien que cette conception ait de riches racines dans l'histoire de la science, elle n'a retrouvé ses lettres de noblesse que depuis peu, par un texte important de H. A. SIMON (prix Nobel 1978) que l'on a déjà eu l'occasion d'évoquer, publié pour la première fois en 1969, complété en 1981 : Sciences des systèmes, sciences de l'artificiel (trad. 1991), et en particulier le chapitre 5 : « The science of design ». On a eu l'occasion, en 1980-1981, de proposer de restaurer l'expression francophone « Sciences du génie » pour traduire *Sciences of design*, par contraste avec les sciences d'analyse.

2. On a proposé une réflexion sur l'axiomatique de la modélisation dans *Économie et Sociétés*, Cahiers de l'ISMEA, série EM n° 6, t. XIV, n° 8, octobre 1980, sous le titre, Une axiomatique : les règles du jeu de la modélisation systémique.

3. On a développé et illustré cet argument dans une étude intitulée : Les sciences de la décision : sciences d'analyse ou sciences du génie ? Interprétations épistémologiques (1982), publié dans R. Nadeau et M. Landry (éd.), 1986.

4. On emprunte la métaphore de la lutte avec l'ange et de l'appel à l'ascèse à la conclusion du bel article de R. THOM : La Science malgré tout..., dans l'organum (vol. 17) de l'*Encyclopedia Universalis* (1968).

5. On a reconnu la métaphore de l'abeille et l'architecte, proposée par K. MARX, à laquelle on s'est déjà référé (cf. n. 1, p. 22).

Postface

pour la quatrième édition

La Science des Systèmes transforme le Système des Sciences qui la forme

> « On a toujours cherché des explications quand c'était des représentations qu'on pouvait seulement essayer d'inventer. »
>
> P. Valéry, *Cahiers*, 1933, p. 837.

Tout développement de la Science des Systèmes conduit spontanément à une réflexion sur le Système des Sciences dans lequel elle se développe ; réflexion récursive, la science transformant peut-être le système qui la transforme. Avant même que la systémique ne s'institutionnalise au sein des disciplines, Jean Piaget avait déjà montré l'audace épistémologique dont elle allait avoir à faire preuve, en examinant (dans son Encyclopédie Pléiade sur la *Connaissance Scientifique,* 1967) les transformations qui se manifestent en permanence au sein du Système des Sciences,.

Quelques épistémologues avant lui, qui ne se percevaient pas particulièrement attentifs à l'émergence d'une science des systèmes, avaient déjà pressenti cet ébranlement prévisible d'un Système des Sciences positives (si solidement construit depuis plus d'un siècle qu'il semblait inébranlable dans la forme hiérarchique que lui avait donné le tableau synoptique des sciences dressé par Auguste Comte en 1828) : le *Nouvel Esprit Scientifique* de G. Bachelard (1934) autant que la *Structure des Révolutions Scientifiques* de T. Kuhn (1963) en témoignent. Sans doute les premiers chercheurs engagés dans les années quarante et cinquante dans les explorations des premières îles de l'Archipel de la Systémique (alors inconnue, le nom n'existait pas plus que la discipline) pressentaient-ils les enjeux épistémologiques sous-jacents à leurs investigations. On cite volontiers aujourd'hui des textes révélateurs écrits par N. Wiener en 1943 (le fondateur de la Cybernétique avec A. Rosenblueth et

J. Bigelow), par W. McCulloch et J. Pitt, également en 1943 (les pionniers des connexionnismes contemporains), par W. Weaver en 1948 (le premier hérault des sciences de la complexité), par le biologiste L. von Bertalanffy en 1950 et par l'économiste K. Boulding en 1954 (les fondateurs de la première « *Société pour la Recherche sur le Système Général* », SGSR), comme ceux d'H. A. Simon et d'A. Newell publiés en 1954 et 1958 établissant le Paradigme du *Système de Traitement de l'Information.*

Sciences des Systèmes :
un langage pour exprimer l'Inter-disciplinarité

Mais aucun de ces textes fondateurs, dont la portée épistémologique apparaissait alors plus potentielle qu'immédiate, ne considérait explicitement les conséquences induites implicitement par l'émergence d'une science des systèmes sur le statut du système des sciences dans lequel elle s'insérait. Prudence tactique vis-à-vis des académies certes : il fallait appliquer le principe systémique de la niche écologique. Si le système des sciences parvenait à supporter ce modeste parasite, il serait temps alors d'élaborer une stratégie plus offensive ! Mais aussi sans doute, conscience de la grande difficulté du défi épistémologique qu'on allait devoir affronter puisque le système des sciences positives interdit, par sa définition même, une recherche scientifique effectivement *interdisciplinaire.* Or la science des systèmes qui se définit volontiers par son projet et son expérience modélisatrice (et donc par son méta-langage capable d'assurer la communication entre plusieurs langages disciplinaires), ne peut s'entendre que dans et par *l'inter (ou la trans) disciplinarité.* Pour se développer, elle devait donc reconsidérer les fondements des positivismes, et pas seulement le détail de telle ou telle arborescence du grand arbre des sciences positives.

En l'affirmant, avec une tranquille audace (audace justifiée par une exceptionnelle expérience modélisatrice), Jean Piaget ouvrait en 1967 une brèche considérable dans le système des sciences alors dominant et proposait une nouvelle carte de « *l'Archipel Scientifique* » (P. Weiss, 1974) que les fondateurs de la systémique contemporaine, et surtout le premier d'entre eux, Edgar Morin, vont à leur tour explorer et construire à partir des années soixante-dix. On ne peut manquer d'être impressionné par les contributions épistémologiques générales parfois « éloignées » des développements spécifiques de la science des systèmes encore en construction, que l'on trouve dans les oeuvres contemporaines d'H. von Foerster (1983), d'I. Prigogine (1979), de F. Varela (1979 et 1992), d'H. Atlan (1972, 1979, 1991), d'Y. Barel (1979, 1989) et d'H. A. Simon (1976, 1980, 1981, 1983) et d'E. Morin (1977, 1980, 1986, 1990), pour ne citer que quelques-uns

des chercheurs dont les œuvres sont les plus fréquemment citées dans les recherches en systémique et en épistémologie.

Systémique, Autonomie, Cognition

Ce phénomène est sans doute devenu de plus en plus visible au fil des années quatre-vingt, du fait du brutal effet d'audience des toutes nouvelles sciences de la cognition : nécessairement interdisciplinaires, ces nouvelles sciences requièrent un langage qui permet les co-modélisations que seuls le paradigme Simonien du *Système de Traitement de l'Information* et celui, plus réducteur, du *connexionnisme* peuvent aujourd'hui leur proposer. L'un et l'autre se sont construits au cœur de la systémique au moment où elle s'interrogeait sur ses propres fondements épistémologiques. (Il n'est pas surprenant que le Collège français de Systémique de l'AFCET se soit autotransformé symboliquement en 1990 en s'appelant « Systémique et Cognition »). Le questionnement épistémologique de la science des systèmes interrogeant le système des sciences dans lequel elle se formait allait dès lors se généraliser et par là devenir de plus en plus plausible. Ce n'était pas seulement, comme on l'avait cru un instant dans les années quatre-vingt, une question de maturation interne des disciplines n'affectant pas leur substrat, l'arbre des sciences dont elles seraient les branches plus ou moins grosses et ramifiées, par générations successives, disait-on : une *Seconde Cybernétique* prenant en compte les processus de transformation interne, en sus d'une Première qui ne considérait que les fonctionnements externes ? ; ou une *Deuxième Systémique* qui assimilait les théories de l'autonomie (auto-poïèse et auto-organisation) que semblait méconnaître une *Première* attentive surtout aux régulations homéostatiques et homéorhésiques ? ; voire une *Troisième Systémique* intégrant les modèles de la Cognition qu'ils soient Connexionnistes ou Symbolisants ?…

L'auto-construction épistémologique de la systémique

Ces modèles générationnels peuvent se lire un instant, « à la surface » en quelque sorte ; mais ils ne permettent pas de rendre compte de la crise paradigmatique dont ils ne sont que de fugaces occurrences. Jean Piaget avait raison de nous inviter à reconnaître sous les apparences des glissements dans le discours des sciences et de leurs pratiques, des transformations profondes du Système des Sciences, et donc des conditions de production et de légitimation des énoncés scientifiques enseignables. Les fondements ontologiques, réductionnistes et

syllogistiques des positivismes, sur lesquels reposait de façon exclusive le système hiérarchique des sciences, peuvent désormais être reconsidérés. Les fondements épistémologiques sur lesquels se développe la Science des Systèmes, et avec elles toutes les « Nouvelles Sciences » (cf. J.-L. Le Moigne, 1987), des sciences de la cognition à l'architecturologie par la nouvelle dialectique, l'écologie humaine, et les mathématiques non standard, se construisent dans ce développement même : « *Fait nouveau et de conséquences incalculables pour l'avenir* », écrivait déjà Jean Piaget en 1967, ce sont les sciences elles-mêmes qui, dans leur activité propre, construisent leur propre épistémologie... au lieu d'aller interroger un grand maître qui leur révélerait les secrets des fondements de la scientificité. Si bien que notre lecture des développements de la systémique contemporaine peut et doit se faire dans cette interaction permanente qu'elle subit et qu'elle suscite : interactions avec toutes les « nouvelles sciences » auxquelles elle emprunte leur expérience modélisatrice, et qui lui empruntent son langage modélisateur en permanente reconstruction.

Cette interprétation épistémologique de la formation et du mûrissement de la Science des Systèmes ne corrobore-t-elle pas la thèse fondatrice que l'on proposait en 1977 en présentant *la Théorie du Système Général comme et par une Théorie de la Modélisation* (et non une théorie du modèle universel du « vrai » système), puis celle que l'on argumente ici, de la stabilité conceptuelle de cette théorie de la modélisation. Si l'on peut, quinze ans après sa première parution, rééditer ce livre sans modifications notables, sinon par quelques développements additifs qui n'affectent pas son organisation, n'est-ce pas parce que les fondements épistémologiques de la modélisation systémique et l'interprétation pragmatique des expériences modélisatrices à partir desquels on l'a élaboré, le définissent comme un *génotype :* non pas le modèle *phénotypique* contingent de tel ou tel système (physique, chimique, urbain, spatial, dynamique, économique...), mais le processus cognitif de conception-construction des représentations symboliques par lesquelles l'esprit raisonne, relie, conjoint, distingue et relie encore.

La Théorie du Système Général, Théorie de la Modélisation se conçoit dès lors comme une représentation satisfaisante du Système de Représentation par lequel s'exerce l'acte modélisateur. Cette stabilité conceptuelle est-elle suffisante pour permettre effectivement les innombrables exercices modélisateurs qu'appellent l'action et la cognition humaines ? Il nous semble aujourd'hui encore que la réponse est affirmative, dès lors qu'on l'entend dans sa nécessaire incomplétude. Autrement dit dès lors que l'on prête attention, en permanence, à toutes les expériences que la modélisation systémique suscite dans tous les domaines. L'analogie avec la Rhétorique peut ici éclairer. Par bien des aspects, la Modélisation Systémique peut être considérée comme une formé moderne de *l'Inventio* rhétorique ; une rhétorique que l'on peut certes développer et enseigner, mais dont la fécondité n'apparaît que dans son exercice. C'est en observant la

systémique en exercice que l'on peut sans doute percevoir la pertinence de l'exigence intellectuelle qu'elle requiert (une rigueur qui s'intéresse au fond plus qu'à la forme, qui ne disjoint pas les fins et les moyens, les projets et les actes, les intentions et les modèles).

En se développant, la systémique active les nouvelles sciences

Peut-on alors, pour illustrer ce propos, évoquer succinctement un certain nombre de ces exercices modélisateurs développés dans les champs très divers, par des chercheurs et des praticiens qui nous ont, en retour, enrichis de leur propre réflexion : ces références (pour l'essentiel francophones) permettront peut-être au lecteur, en fonction de ses intérêts, de percevoir quelques renouvellements et quelques enrichissements. C'est dans cette attention aux pratiques modélisatrices et à leur discussion épistémologique que se construit aujourd'hui me semble-t-il la Science des Systèmes (F. Le Gallou *et al.*, 1992).

Attention aux développements systémiques importants que l'on observe dans le champ des nouvelles *sciences de l'éducation,* par les travaux de G. Lerbet (1983 et 1994) et de son équipe, comme par ceux de J. Ardoino (1990) et des groupes qu'il anime au sein de l'ARFISE (1994) ; dans le champ des *sciences de la cognition,* par les recherches de J.-B. Grize (1990), E. Morin (1986, 1990), J. Miermont (1993 et 1994), J.-P. Desclès (1990), de Ch. Roig (1977, 1993, 1994), d'E. Andreewsky (1992) ; dans le champ de la *Psychiatrie et de la Psychothérapie,* par les recherches de Ph. Caillé (1990, 1993, 1994) et de son équipe (Y. Rey, 1992), de C. Guitton (1990), de M. Monroy (1990), de J. Miermont (1987, 1990) ; dans le champ des *sciences juridiques* par les travaux d'A. J. Arnaud (1992) et de plusieurs de ses collègues des groupes « Droit et Société » (D. Bourcier, 1993, etc.) ; et des *sciences du politique* par le travail très important de J.-L. Vullierme sur « *le concept de système politique* » (1989), comme par ceux de J.-W. Lapierre (1992), comme, aussi des *sciences historiques* (D. Khoury, 1993) et *géographiques* (B. Racine, 1981) ; dans le champ des *sciences de la société (économie, sociologie, gestion),* par les textes d'Y. Barel (1989), J. Lesourne (1991), d'E. Morin (1994), d'H. Bartoli (1992), de J.-P. Dupuy (1992), de B. Ancori (1993), de A. Demailly (1993), d'A. Martinet (1990), de C. Marmuse (1992), du groupe Terence (R. Ribette, 1993), d'H. Tardieu (1992), de G. Kervern (1992), de D. Génelot (1992) pour ne mentionner que des ouvrages récents en langue française. Il faudra aussi citer les développements en cours dans les champs de la *vie artificielle et de la bio-informatique* (P. Bourgine, 1992, F. Varela, 1989, de J. de Rosnay, 1993), de *l'écologie théorique, de l'éthologie et de la biologie théorique* (E. Morin, 1993, H. Greppin, 1993, C. Bruter, 1993), *des sciences de la communication* (D. Bougnoux,

1990 et 1993, Y. Winkin, 1989) ; et bien sûr de la *physique théorique* (M. Mugur-Schächter, 1992) tout autant que de la *dynamique des systèmes non linéaires* (théorie du chaos, etc., D. Ruelle, 1991) ou de *l'astrophysique ;* mais aussi des *nouvelles sciences de l'ingénierie,* et plus généralement peut-être des sciences de la conception, de *l'agronomie* (J. Brossier *et al.,* 1991 ; M. Sebillotte, 1989) à *l'Intelligence Artificielle* (J. Pitrat, 1990) et le *génie cognitif* (J.-L. Ermine, 1992) par les *Arts Graphiques* (le groupe CYPRES, 1993) et à *l'architecturologie* (Ph. Boudon, 1990, 1992), comme à *l'ergonomie* (B. Cazamian, 1987).

Énumération que le lecteur novice risque de tenir pour fastidieuse, et le lecteur expert pour irritante par ses omissions ou ses préférences ? Qu'il veuille bien se souvenir qu'on ne voulait ici qu'illustrer, ou « faire voir » : faire voir la possibilité d'un langage de modélisation qui ne contraigne pas à l'usuelle réduction disciplinaire, et qui permette l'intelligibilité non plus seulement multi, mais aussi inter et parfois transdisciplinaire (ou transversale : la lettre mensuelle *Transversale Science Culture* animée par J. Robin, doit ici être mentionnée précisément parce qu'elle témoigne, depuis plusieurs années, de cette faisabilité modélisatrice et langagière que permet la modélisation systémique). Les travaux récents et francophones que l'on vient de mentionner sont caractérisés par le fait que tout lecteur de bonne foi, familier de la modélisation systémique, peut en général aisément « comprendre » et s'approprier l'essentiel de l'argument développé par l'un quelconque d'entre eux.

Prospective systémique : les Sciences de la complexité

C'est cette production d'intelligibilité en situation perçue *a priori* complexe qui justifie me semble-t-il l'ambitieux projet de la Science des Systèmes : développer des langages conceptuels qui visent la compréhension du sens plutôt que l'explication de la forme. L'*ingenium* (G. B. Vico, 1708, 1710) qui relie et qui ouvre, plutôt que l'Analyse qui découpe et enferme. Projet qui sans doute la conduira à osciller en permanence entre les *deux formes de rationalité* (H. A. Simon, 1977 ; J.-L. Le Moigne, 1994), celle qui déduit, qui démontre, qui vérifie, et celle qui infère, qui argumente, qui élabore ou qui invente. Le remarquable programme de recherche que développe depuis quelques années le célèbre *Institut nord-américain de Santa-Fé des Sciences de la Complexité* (D. Stein, 1991 ; L. Laughton, 1992) illustre bien la première (celle des « sciences dures »). Ne peut-on proposer que l'Europe et la Francophonie développent un programme plus complémentaire que concurrent, qui illustre la seconde (celle des « sciences douces ») ? Il me semble en examinant les convergences potentielles entre les travaux si divers que l'on énumérait que ce projet d'une ambitieuse *Science des Systèmes*

« *douce* » attentive à la merveilleuse complexité du monde est désormais possible (cf. J.-L. Le Moigne et M. Orillard, 1990 : « *Systémique et Complexité* »). Possible et souhaitable dès lors qu'il s'arc-boute sur une réflexion épistémologique exigeante dont J. Piaget, H. A. Simon et E. Morin nous ont, avec bien d'autres, proposé les fondements et dont on peut et doit désormais poursuivre les transformations (cf. J.-L. Le Moigne, 1990, 1994-1995).

On ne sera pas surpris de voir cette Postface se conclure par une réflexion quasi prospective : en s'exerçant, la science des systèmes devient *Sciences de la Conception (science of design)*, dira H. A. Simon (1969, 1981), élaborant le premier manifeste épistémologique des sciences des systèmes entendus comme *science de l'artificiel*, puisqu'elles s'expriment par les seuls artifices de la représentation symbolique ; puis *sciences de l'Ingenium* (si l'on restaure le concept de *génie* formulé par G. B. Vico), *sciences du génie ou nouvelles sciences de l'ingénierie*, dira-t-on plus volontiers aujourd'hui ; puis, s'enrichissant de toutes ces transformations, *Sciences de la complexité*. Non plus seulement les complexités du chaos ou du non-linéaire, comme commencent à les développer les disciplines dures, mais aussi et peut-être d'abord les complexités de l'intelligence, de l'illimité, les complexités des possibles qui peuvent émerger et que l'homme peut vouloir sans devoir les prévoir, les complexités qu'explorent les sciences de l'homme et de la société, celles des nouvelles sciences de l'ingénierie, celles de l'écologie humaine. H. A. Simon en Amérique, E. Morin en Europe ont ouvert de nouvelles voies que la science des systèmes peut aujourd'hui explorer, voies que l'on reconnaîtra peut-être dans nos entreprises collectives et tâtonnantes des *Programmes de Modélisation de la Complexité*.

Apostille rédigée en septembre 2006à cette postface 2004. Peu après avoir rédigé cette postface de la 4° édition (1994), je publiais les premières éditions des deux tomes du '*Constructivisme*' (1994-1995), les secondes éditions paraissant en 2001 et 2002. Un 3° Tome du *Constructivisme* est paru en 2004. Le site du Réseau MCX-APC se développe sur la toile Internet à partir de 1998, actualisant progressivement bien des références ici pertinentes. Les Actes du Colloque de Cerisy, juin 2005, '*Intelligence de la Complexité, Epistémologie et Pragmatique*', animé par Edgar Morin et JL Le Moigne, paraissent fin 2006 aux éditions de l'Aube.

ANNEXES

ANNEXE I

Quelques typologies intéressantes pour l'identification d'un système

On a dit (chap. 12, p. 257) les raisons pour lesquelles il nous semblait de peu d'intérêt de fonder la Théorie du Système Général sur une typologie plutôt que sur une autre : si le système est général, c'est précisément parce qu'il ne peut être « réduit » à une case dans un tableau de classification par type.

On est frappé pourtant par l'importance qu'attache à une telle sance de la distinction « système froid — système chaud » pour rendre compte correctement de l'évolution créatrice du Système Général. Hormis cette importante exception, nous n'avons pas eu à privilégier une typologie particulière pour présenter les propriétés du Système Général.

On est frappé pourtant par l'importance qu'attachent à une telle classification la plupart des auteurs anglo-saxons abordant la théorie, en même temps que par la disparité de leurs propositions : j'en ai relevé plus de dix, pratiquement irréductibles les unes aux autres ! (preuve incidente du fait qu'aucune d'entre elles n'est *a priori* la seule bonne ! !). Il est peut-être utile pourtant de présenter, très succinctement, certaines d'entre elles. Dans certains cas, une telle lecture pourra stimuler l'imagination et aider le modélisateur à reconnaître un « cas » déjà abordé dans le modèle qu'il élabore.

1. *Typologie par la nature des intrants* (J. A. Miller, étendue). On l'a déjà, en pratique, mentionnée au chapitre 4, (cf. fig. 4.3).

- Matière
- Énergie
- Information
  - de commande
  - symbolique/représentation interne
  - symbolique/représentation externe.

2. *Typologie par la nature de la régulation spatiale assurée par le système*
(R. Thom, 1974, p. 134).

- Ne régule pas sa propre frontière (ex. : gaz parfait) caractérisé par une énorme redondance morphologique.
- Régule sa frontière (ex. : thermostat).

3. *Typologie par les conditions d'équilibre assurées par le système*
(L. Nikolaïev, 1973, p. 34).

- *1er ordre* : équilibre par annulation du travail virtuel des forces appliquées au système (p. ex. : S. mécanique).
- *2e ordre* : équilibre par maximisation de l'entropie (p. ex. : S. thermodynamique).
- *3e ordre* : équilibre par minimisation de la variation entropique dans le temps :
  $\frac{ds}{dt}$ (p. ex. : processus irréversible).
- *4e ordre* : équilibre par un régulateur de type rétromettance, avec émissions d'informations (par ex. : thermostat).

4. *Typologie par la nature et la taille de la structure du système*
(H. Atlan, 1972, p. 235, développant Polonsky).

	Structure *ordonnée* (redondance dans l'homogène)	Structure *organisée* (variété : spécificité dans l'hétérogène)
Macroscopique	*Classe 1*	*Classe 3*
(l'informationnel est négligeable devant l'énergétique)	P. ex. : les systèmes physiques simples	P. ex. : les artefacts tels que : ordinateurs et télécommunications
Microscopique	*Classe 2*	*Classe 4*
(l'informationnel et l'énergétique sont de même ordre de grandeur)	P. ex. : les cristaux	P. ex. : les systèmes vivants

5. *Typologie par la nature des objets décrits* (R. W. Gérard, p. ex. *in* Pattee, 1969, p. 225).

- Les ORG. : molécule, cristal, géographie, géologie, astronomie...
- Les ANIMORG. : mono- et multicellules, organisme, épiorganismes (individus, sociétés...).

6. *Typologie par la nature du modèle établi* (J. A. Miller, 1965, p. 200).

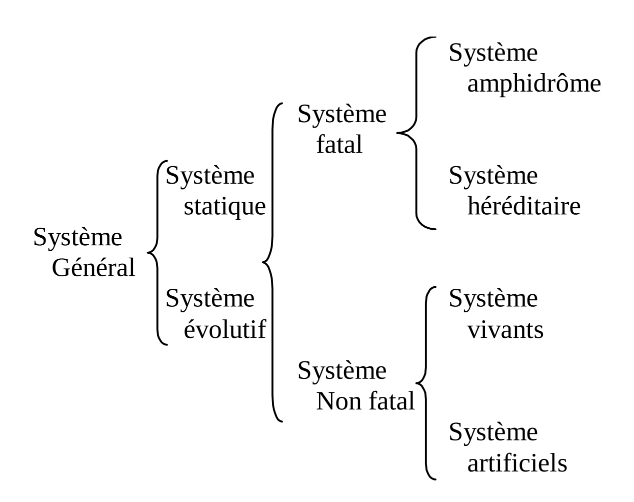
• Système concret → • Système conceptuel
↓ ↓
• Système abstrait → • Système symbolique

(*Remarque :* J. A. Miller n'introduit pas directement le concept de système symbolique, qui semble avoir sa place ici, par symétrie !)

7. *Typologie par le nombre de niveaux et les buts du système* (M. Mesarovic, in Whyte *et al.*, 1969, p. 44).

		Nombre de niveaux du système de pilotage	
		Un seul	*Plusieurs*
Nombre de buts du système	Un seul	P. ex. : théorie de la commande optimale	
	Plusieurs	P. ex. : théorie des décisions coordonnées *(team theory)*	Théorie de la coordination des systèmes arborescents

8. *Typologie par la liberté d'évolution du système* (Th. Vogel, 1965, p. 9) complété pour les systèmes non fatals).



9. *Typologie par la nature des fonctions* (J. Forester, 1961, p. 49, imbriqué dans G. Klir, 1969, p. 73).

- Physique ou abstrait.
- Réel ou conceptuel.
- Ouvert ou fermé.
- Continu ou discret.
- Linéaire ou non linéaire.
- Unique ou répétitif.
- Déterministe ou probabiliste (stochastique).

etc. !

(ce type de découpage dichotomique conduit à une pulvérisation du nombre de cas possibles et perd ainsi très vite son intérêt).

Dans le même ouvrage de Klir, on trouvera en revanche un glossaire du vocabulaire systémique incomplet mais bien présenté.

10. *Autres typologies.*

— Y. Barel (1971) présente, en langue française (p. 105-116), une synthèse remarquable de toutes les typologies disponibles avant 1970, en particulier un tableau célèbre de Marney-Smith. On se doit de renvoyer le lecteur à son étude qui constitua, dans son ensemble, une œuvre de pionnier toujours actuelle.

— C. Churchman (1971) propose une classification repérée sur quelques célèbres paradigmes de la philosophie : Leibniz, Locke, Kant, Hegel et Singer.

— R. L. Ackoff (1971) classe les systèmes selon la liberté de leur système de finalisation (en anglais : *goal-seeking, purposive, purposeful*).

On arrête ici cette énumération, qu'il ne serait pas très difficile de prolonger avec un peu d'imagination. Aussi longtemps qu'elle ne pourra être argumentée, son intérêt théorique nous semble actuellement faible, si son intérêt pratique est possible.

ANNEXE 2

Quelques exercices pédagogiques d'initiation à la systémographie

L'exposé de la Théorie du Système Général est relativement aride, dès que l'on doit approfondir le détail des propriétés. Il importe donc de développer un matériel pédagogique simple et original qui facilite l'accès de chacun à une démarche encore peu familière. L'entreprise est malaisée, mais les pionniers ont déjà expérimenté quelques exercices qui permettent d'échapper à la traditionnelle « question de cours », pour mieux atteindre l'expérience personnelle de chacun.

Pour stimuler l'imagination, j'ai pensé utile de rassembler trois exercices dans cette annexe. Ils témoignent au moins de l'intense volonté de communication de l'auteur... Peut-être même feront-ils mieux que ses propos trop souvent abstraits ?

ANNEXE 2 *a*

Exercice d'identification d'un objet

Le dessin ci-après, un objet, doit pouvoir être identifié. Il est probable pourtant que les Systèmes de Représentation (vous et moi) ne l'identifieront pas tous de la même façon... et donc lui donneront des noms forts différents.

La « logique » ne sera pas surprise si elle entend l'un déclarer : « c'est un dessin représentant une femme » et l'autre « c'est un gribouillage ne représentant rien ». Mais elle le sera peut-être si elle entend deux identifications formellement contradictoires : pour l'un : « c'est le portrait d'une jeune femme élégante »; pour l'autre : « c'est le portrait d'une vieille femme triste » ! : le même objet !

Et pourtant le lecteur qui voudra bien modifier un instant les caractéristiques internes de son Système de Représentation conviendra qu'il peut identifier tour à tour dans ce même objet une vieille femme

et une jeune élégante (l'œil et la bouche de l'une devenant l'oreille et le collier de l'autre).



G. Weinberg, à qui nous empruntons ce dessin ([a]) qu'il publie p. 53 de son intéressante *Introduction to system thinking* (Wiley, 1975), raconte qu'il l'a montré à de nombreux auditoires d'étudiants et de cadres. Presque toujours, à la fin de la séance, plusieurs d'entre eux le prenaient en particulier en le suppliant de leur dire — en confidence — ce que ce dessin représentait « réellement » ! Étonnante difficulté que nous impose le mythe de l'évidence !

Cet exercice aidera peut-être... les amis du lecteur à convenir qu'ils sont, eux aussi, des Systèmes de Représentation, maîtres du choix de leurs intentions !

ANNEXE 2 *b*

Exercice enfantin d'identification des processeurs élémentaires constituant un système simple

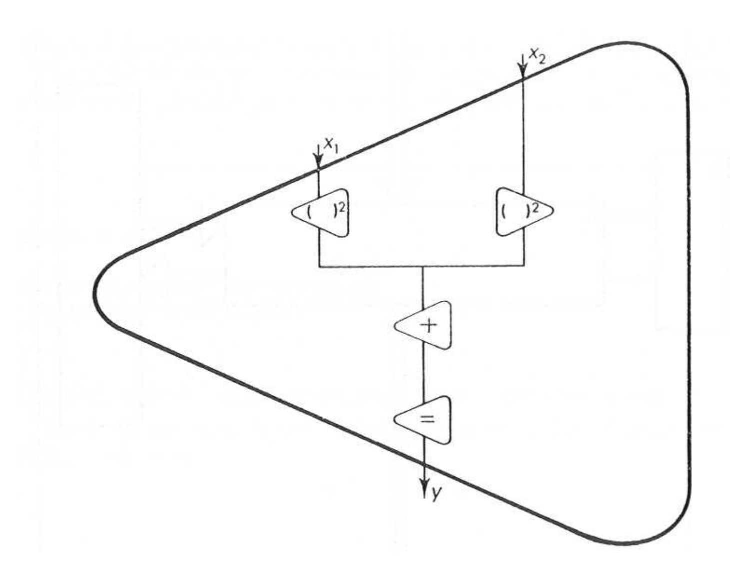
Considérons un objet familier, tel que l'équation :

$$(x_1)^2 + (x_2)^2 = y$$

Proposons-nous de systémographier cet objet : autrement dit, de le représenter homomorphiquement par un Système Général. Nous pouvons, par exemple, pour ce faire, nous demander : quels sont les « éléments » de ce système ? puis, les ayant identifiés : quelles sont les relations qui les connectent ?

Usuellement, les joueurs répondent : les éléments sont x_1, x_2 et y ; les interrelations sont + et =.

Si, en revanche, on recherche les « processeurs élémentaires » ou les « éléments actifs » de ce système, on sera conduit à identifier trois opérateurs : $(\ )^2$, +, =, puis à les agencer en un réseau, tel que :



et enfin, à nommer le flux (ou les variables), processé par ce système : les intrants x_1, et X_2, l'extrant *y*.

La première démarche, typiquement « a-systémique » (... et parfaitement cartésienne) est couramment pratiquée sous le label illusoire d'analyse de système.

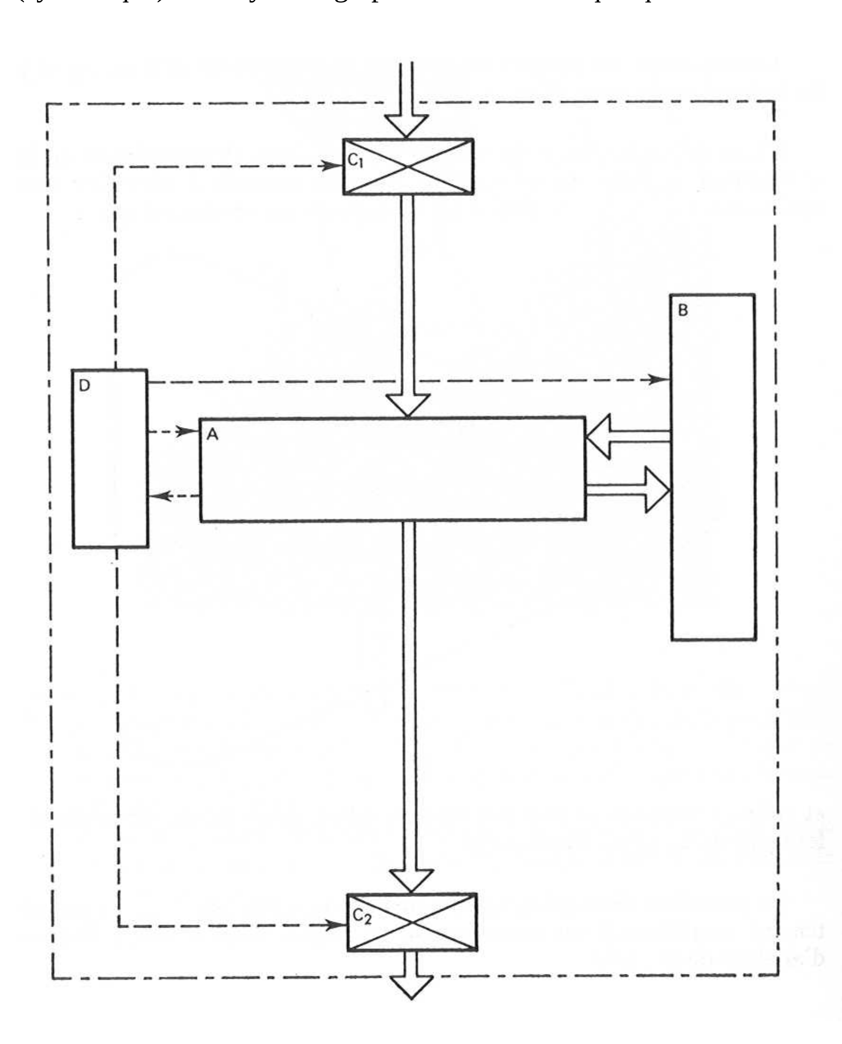
La seconde, encore peu familière, est typique de la systémographie dans ce cas enfantin, l'avantage du marteau-pilon n'est pas démontré, mais on suggère au lecteur de tester ainsi la culture systémique de ses proches !

ANNEXE 2 *c*

Exercice de rétrosystémographie

Pour habituer le modélisateur à manipuler les divers types de « processeurs élémentaires » dont il peut disposer, on lui suggère un exercice paradoxal :

Étant donné un modèle, constitué par un réseau de processeurs, identifiez un objet dont ce dessin pourrait légitimement être le modèle (systémique). Une systémographie à l'envers en quelque sorte.



Le dessin ci-contre a été soumis à plusieurs auditoires, chaque participant ayant à l'interpréter à sa guise, en nommant les cinq boîtes noires ainsi interconnectées. Extrayons quelques exemples de la collection des réponses ainsi constituée : un aéroport, la rédaction d'un journal, une sucrerie, une banque, une automobile, une bibliothèque et une unité centrale d'ordinateur (schéma de départ de l'exercice : cf. Klir et Valach, 1965, p. 159).

Les participants réagissent initialement de façon assez agressive lors de la mise en commun de leurs réponses : « Alors, n'importe quoi peut représenter n'importe quoi ? » Puis ils découvrent la permanence des trois grands types de fonctions : processer des objets dans leur forme, dans leur position spatiale, dans leur position temporelle. Dans le schéma proposé, le module *A* sera par exemple un T. Processeur : magasin de stockage, ou coffre ou mémoire ou salle d'attente ; le module *B* sera un F. Processeur : atelier de fabrication ou salle de rédaction, ou moteur ou bloc opératoire ; les modules C_1 et C_2 seront des E. Processeurs : guichets d'admission ou tubulures, ou portails, ou terminal de télex, ou camion ; le module *D*, qui ne processe que des informations aura une vocation *a priori* de pilotage et on peut présumer qu'à nouveau on pourrait reconnaître en son sein des processeurs de type T, E, F. Ici, par exemple, il pourra représenter la direction d'une usine ou d'un aéroport, le pilote d'une automobile ou le rédacteur en chef d'un journal !

On peut développer l'exercice en supprimant ou en ajoutant des interrelations, puis des processeurs non identifiés *a priori*... pour « voir » !

ANNEXE 2 *d*

Exercice d'intuition (cartésienne) et de logique (systémique)

Russel Ackoff suggère volontiers le petit exercice suivant :

Étant donné une figure définie par neuf points disposés en carré comme ci-dessous :

o o o

o o o

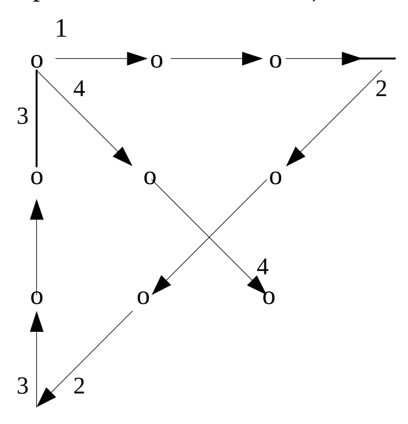
o o o

Proposez un tracé qui permette de joindre ces neuf points à l'aide de quatre segments de ligne droite et ce sans que jamais le crayon quitte la feuille (et sans plier la feuille).

Les joueurs trouvent habituellement très vite divers tracés permettant de joindre ainsi huit des neuf points par quatre segments consécutifs... et déclarent alors « sans solution possible » le problème pour neuf points.

Et pourtant ! Si, au lieu de l'approche réductionniste familière, ils se proposaient une approche globaliste : considérer cette figure de neuf points comme immergée dans un environnement, lui aussi peut-être tapissé de points. La solution devient alors presque banale, on le vérifiera ci-dessous !

Ce qui, dans une approche réductionniste, aurait été déclaré comme une intuition devient, dans une approche globaliste, une déduction (à la portée d'un ordinateur !).



Solution de l'exercice *2 d* :
en immergeant la figure dans son environnement
tapissé de points

Note complémentaire pour la deuxième édition

([a]) Cet étonnant dessin fut réalisé, en 1915, par un dessinateur anglais, Hill. Il l'avait intitulé, assure-t-on : « Ma femme et ma belle-mère. » Il fut découvert grâce à un article de Boring dans *l'American journal of Psychology* (n° 42, 1930, p. 444-445) intitulé : « A New ambiguous figure. » Il réapparaît en 1963 dans un recueil publié aux États-Unis (J. Wiley, 1963) intitulé : *History Psychology and Science : Selected papers*, puis, peu après, dans un article de la revue *Science* (n° 145, 1964, p. 680-685) intitulé : « Cognitive dissonance : Its use in Science ».

ANNEXE 3

Sur un problème d'entitation : Théorie du Système Général ou Théorie Générale des Systèmes ?

Quelques experts contesteront le bien-fondé du titre que l'on a retenu pour cet ouvrage et pour la théorie qu'il est présumé présenter. Sans se livrer à une trop longue exégèse, on leur doit ici quelques commentaires justificatifs.

Nul ne conteste la « base de départ » : le titre anglais donné, en 1968, par L. von Bertalanffy, à l'ouvrage par lequel il rassemblait enfin toutes ses réflexions sur une théorie dont l'essentiel était élaboré, pour lui, entre 1930 et 1940 : *General System* (sans s) *Theory*. L'ambiguïté de la syntaxe anglaise qui autorise deux interprétations (théorie générale et Système Général) provoqua aux Etats-Unis l'apparition de deux « écoles » (selon G. Weinberg, *in* G. Klir, 1972, p. 99), la première disposant même d'un grand intolérant attitré, E. Lazlo, qui proclamera « *qu'affirmer l'existence d'une théorie du système général est un non-sens : en fait* (sic), *il y a seulement une théorie générale des systèmes* (a general theory of systems) » (cf. E. Lazlo, in *Behavioral Sciences*, vol. 20, 1975, p. 15).

Comme il ne suffit pas d'affirmer pour convaincre, nous ignorerons l'apostrophe, en suggérant aux tenants de l'école de la « théorie générale » de tenter de la construire, plutôt que d'en parler ou d'en philosopher [1], sans condamner ceux qui... plus rapidement semble-t-il... bâtissent une autre théorie, moins follement ambitieuse, nous l'avons vu (cf. chap. 2, n. 1, p. 59), celle du « Système Général ».

L'école du « Système Général » resta longtemps ignorée en France, du fait peut-être du titre retenu par le traducteur français de *General System Theory :* la théorie générale *des* systèmes. Il prenait ainsi parti..., sans informer scrupuleusement le lecteur. Mais il commettait, ce faisant, un autre oubli : L. von Bertalanffy parle « du » *System* et non pas « des » systèmes (il s'en expliquera plus tard, en « tolérant » le pluriel, *in* G. Klir, 1972, p. 29) et en précisant que pour

1. E. LAZLO est le père d'une *Introduction à la philosophie des systèmes* (1972).

lui « « le » système est « un » modèle de nature générale » (p. 31) [1]. (De même le mathématicien (et ingénieur) L. Zadeh intitule délibérément son ouvrage de base : *System (sans s) theory* (1969).)

Soyons indulgents pour cet oubli car il est exact que la plupart des auteurs (américains) de l'école du Système Général parlent indifféremment de celui-ci au pluriel comme au singulier, parfois dans la même page (cf. par ex. T. G. Windeksnecht, 1971, p. 1). Ce qui, chez certains, dissimule peut-être un espoir d'habilitation systémique (... ou systémystificatrice, dira plaisamment B. Lacroix, 1975) de la part des tenants de la « théorie générale » !

Il nous a paru en conséquence plus loyal et plus simple... d'appeler un chat un chat, et de baptiser « Système Général » cet objet (au singulier) que chacun peut reconnaître. Et de même que l'on parle plus volontiers de la théorie de l'information ou du signal (plutôt que des informations, ou des signaux), nous proposerons l'entitation : théorie du Système Général, étant entendu que le sous- (ou sur ?) titre « théorie de la modélisation » l'accompagnera chaque fois qu'il le faudra [2] !

---

1. Précisons que pour L. von Bertalanffy (pour qui l'anglais n'était pas la langue maternelle), l'épithète *general* était attribuée sans ambiguïté au substantif « système » et non au substantif « théorie ». En témoigne en particulier le nom de l'association qu'il fonda en 1956 : « Society for General Systems Research » qui publie chaque année un *General Systems Yearbook.*

2. A l'instant du premier « bon à tirer » (en 1977), je découvre ces lignes dans le tome I de *La Méthode* d'E. MORIN (1977) : « Bien qu'elle comporte des aspects radicalement novateurs, la théorie générale des systèmes n'a jamais tenté la théorie générale du système ; elle a omis de creuser son propre fondement, de réfléchir le concept de système » (p. 101). Sans abuser du principe d'autorité, on conviendra que ce propos me conforte dans ma thèse, face aux spécialistes sourcilleux.

ANNEXE 4

Sur l'institutionnalisation de la systémique

Dans l'Enseignement, la Culture et la Recherche scientifique

Lorsqu'on relit vingt-cinq ans après son élaboration, le programme de recherche proposé par l'Unesco (1970) proposant de faire reconnaître et d'aborder lucidement « *les problèmes généraux de la recherche interdisciplinaire* » (titre de la longue étude rédigée par J. Piaget), on devient plus indulgent à l'égard des pionniers de la recherche et de l'enseignement en sciences des systèmes. On pourrait en effet les interpeller sur leur apparente incapacité à « faire circuler » les connaissances pourtant manifestement pertinentes que ces pionniers ont dégagées (ou restaurées dans les cultures contemporaines qui semblaient les avoir oubliées au fil des deux derniers siècles) depuis quinze ans au moins. On a souligné dans l'Introduction (p. 7) l'impressionnante floraison dans les seules cultures francophones au cours de l'année 1977 de textes essentiels sur lesquels s'est aujourd'hui construite la systémique. (En 1977 paraissent en France des textes d'E. Morin, H. A. Simon, I. Prigogine, F. Varela, J. Lesourne, J.-P. Dupuy, J. Piaget, H. Von Foerster, G. Bateson, Y. Barel, I. Blaouberg, R. Thom, M. Crozier, etc. Les actes du Congrès AFCET de 1977 sur la *« Modélisation des Systèmes » constitueraient* sans doute à eux seuls une anthologie de la systémique !)

Mais les institutions d'enseignement et de recherche, tant en Europe qu'en Amérique, manifestent une exceptionnelle viscosité épistémologique. Pas plus qu'elles n'avaient entendu l'appel à l'Interdisciplinarité pourtant forgée en 1970 à leur demande par leur instance internationale reconnue, l'UNESCO, elles ne prêtent attention aux appels et aux propositions que leur adressent les chercheurs et les praticiens qui s'acharnent à développer et à enseigner une *science des systèmes* solidement construite. Appels pourtant fort bien argumentés parfois : en France, par exemple, ce fut sous la plume d'un important rapport rédigé par le Pr J. Lesourne (1988), à la demande du gouvernement, « *visant à formuler les questions essentielles qu'il convient de poser à moyen et long terme pour préparer l'avenir du système éducatif de notre pays* » (lettre de mission). Rapport qui soulignait en particulier « *la place que le système éducatif devrait faire*

à la systémique indispensable demain à la compréhension des systèmes tant techniques que sociaux. Lentement, inégalement, mais sûrement, ajoutait-il, *un nouveau paradigme est en train de s'élaborer en matière scientifique. Centré sur la notion de système, il met l'accent sur les interactions d'ordre et de désordre qui lui permettent de s'organiser, d'apprendre, de créer* » (p. 135). Peut-être parce qu'il insistait sur la lenteur des mûrissements de ce paradigme, le message de J. Lesourne ne suscita pas un engouement immédiat dans les institutions scientifiques et pédagogiques françaises, et on entendit même peu après quelques biologistes éminents insister sur l'importance de « *l'expertise monodisciplinaire unique* » dont l'expérience quotidienne révèle pourtant des effets pervers pour la société. Discours conservateur coutumier que toutes les institutions du monde entendent volontiers, puisque, par vocation, elles n'aiment pas le changement. A leur décharge, il faut souligner l'effet d'image souvent négative de quelques groupes de militants (auto-proclamés) de la systémique : à force de clamer leur marginalité face à des institutions monodisciplinaires plus indifférentes qu'agressives à leur égard, ils en viennent parfois à oublier l'ascèse épistémologique et méthodologique qui doit « assurer » leurs propres démarches. Certains colloques et certains numéros de revues consacrés à la science des systèmes semblent jouer le rôle d'une « voiture-balai », rassemblant les *éclopés* écartés par les disciplines traditionnelles, éclopés tellement fatigués qu'ils ne prennent parfois même plus la peine d'habiller d'un discours systémique une pensée si invertébrée qu'elle ne contribue ni à la science, ni à l'action ! L'effet pervers de ces images explique sans doute les lenteurs de la diffusion institutionnelle de la science des systèmes, aujourd'hui si surprenante pour le citoyen affrontant les problèmes de l'emploi, de l'environnement, de la violence interethnique ou religieuse, de la désertification des territoires et de la dégénérescence des tissus urbains !

Le principe systémique de la taupe

Mais cette viscosité apparente des cultures institutionnelles que l'on observe encore sur tous les continents, semble-t-il, ne doit pas masquer l'effet potentiel d'un des rares *principes* de la systémique, bien identifié par E. Morin dans *Terre-Patrie* (1993) sous le nom du *principe de la taupe* (p. 216). La recherche et la pratique en science des systèmes conduisent à « *creuser des galeries souterraines qui transforment le sous-sol avant que la surface en soit affectée* » : l'observateur attentif saura peu à peu reconnaître en particulier chez les enseignants intervenant dans les formations dites professionnelles (agricoles, industrielles, services et tertiaires divers, formation, santé, animation sociale, communication, arts plastiques, etc.) et chez les chercheurs scientifiques intervenant dans les domaines interfaces

(conception de systèmes, intelligence et vie artificielle, écologie humaine, etc.) une sorte de réinvention de leurs enseignements. Un enseignement qui « *se centre sur la notion de système* », attentif « *à la place qu'il devra consacrer désormais à la notion de système... s'il veut relever les défis de l'an 2000* » (titre de l'ouvrage de J. Lesourne, 1988).

Cette invention silencieuse et multiforme, pour se développer fut-ce souvent de façon quasi souterraine, doit pourtant susciter sa propre auto-institutionnalisation : chacun pour progresser cherche ces repères habituels que rendent visibles revues et colloques scientifiques et parfois professionnels (au risque d'un charlatanisme qui pour n'être pas délibéré ni propre à la systémique, n'en est pas moins pervers par les effets dissuasifs de ses conséquences ultérieures). Auto-institutionnalisation de la systémique souvent brouillonne, décourageant sa description. Dans la plupart des pays, il naît et meurt chaque année une ou plusieurs revues et une ou plusieurs sociétés scientifiques dont les durées de vie sont très variables (l'une d'entre elles, l'américaine *Society for General System Research,* devenue en s'internationalisant *l'International Society for the Systems Sciences,* fut constituée en 1954 par un petit groupe de chercheurs rassemblés par le biologiste L. von Bertalanffy et l'économiste K. Boulding ; mais d'autres disparaissent ou se dégénèrent en moins d'un an !).

Les trois inspirations de la systémique : Dure, Molle, Douce

Ce bouillonnement témoigne sans doute de la multiplicité des inspirations épistémologiques et pragmatiques de la science des systèmes : entre les tenants d'un positivisme formalisé préconisant une *systémique dure,* ambitionnant d'élaborer le *modèle universel du système du monde,* et ceux d'une idéologie quasi spiritualiste préconisant une *systémique molle,* sorte de philosophie écologisante naïve, le champ d'une *systémique douce* argumentée sur une épistémologie constructiviste et une pragmatique intelligente, peut aujourd'hui s'ouvrir et s'institutionnaliser progressivement. Une systémique douce qui fait sa devise du beau vers d'A. Machado redécouvert par E. Morin : « *Le chemin se construit en marchant.* » Dès lors la présentation des institutions est celle des sillages que laissent derrière eux les navires sur l'océan : ce que l'on peut voir de ce que l'on faisait hier !...

L'étonnante internationalisation de la systémique

Mais l'examen de ces sillages révèle pourtant quelques caractéristiques de ces processus enchevêtrés d'auto-organisation. L'une d'entre elles devient particulièrement visible aujourd'hui : c'est son internationalisation. On compte en effet au moins dix « sociétés internationales » fédérant des groupes nationaux ou régionaux plus divers que concurrents. Sociétés qui se sont elles-mêmes confédérées en 1991 en un « *Réseau Mondial des Institutions Systémiques Internationales* » (WISINET : *Worldwide International Systems Institutions Network*). Une de ces dix sociétés (d'inégales vitalités) est l'« *Union Européenne de Systémique* » constituée en 1989 à l'initiative de quelques sociétés nationales européennes et en particulier de la Société française : l'AFCET (et ses comités « *Systémique et Cognition* » et « *Vie artificielle* ») ; Société qui elle-même développe des relations privilégiées avec ses homologues francophones et latino-américains, et assure la publication de la *Revue Internationale de Systémique* (*RIS,* Dunod-Afcet). Revue qui tente de maintenir un équilibre fluctuant entre les trois « inspirations » de la Systémique : la Dure, la Molle et la Douce. Une autre de ces sociétés internationales, née dans le creuset nord-américain des Sciences de l'Ingénierie, la Société SMC-IEEE (*Systems, Man and Cybernetics*), fait depuis quelques années un gros effort pour s'européaniser et pour élargir progressivement son champ de la systémique dure à la systémique douce. (Elle publie notamment les « *IEEE-Transactions-SMC* »). L'« *International Federation for Systems Research* » (IFSR), publie notamment la revue *Systems Research,* revue qui n'a peut-être plus la vitalité qu'elle connaissait dans les années quatre-vingt sous la direction de N. Warfield. Cette fédération doit elle-même cohabiter avec l'« *International Society for the Systems Sciences* » (ISSS) et avec la « *World Organisation of Cybernetics and Systems* » (WOCS), elle-même d'inspiration plus cybernétique que systémique. Chaque fédération publie un périodique et chaque société fédérée publie, en général dans sa langue nationale et en anglais, son propre « journal », concurrencé parfois par des initiatives spontanées de quelques personnalités qui parviennent à faire éditer leur propre revue ! (On peut obtenir les coordonnées des différentes sociétés affiliées au réseau WISINET en joignant le Comité « Systémique et Cognition » de l'AFCET (156, bd Pereire, 75017 Paris).

L'initiative du Programme Européen Modélisation de la CompleXité (MCX)

Ce panorama de l'institutionnalisation de la systémique peut être complété par la mention d'une initiative suscitée par quelques

chercheurs et praticiens issus de disciplines très diverses, associés dans un groupe de travail du *Comité Systémique et Cognition de l'AFCET,* réfléchissant aux fondements épistémologiques de la modélisation systémique. Cette recherche les a conduits à reconnaître la pertinence de la « *Systémique Douce* » (présentée notamment par un article de la *RIS*, vol. 3, n° 2, 1989 : « *De la Systémique molle à la Systémique douce : douce et ferme* ») et à privilégier l'exploration des processus de modélisation des systèmes complexes. Exploration qui a progressivement pris la forme d'un programme de recherche en réseau, institutionnalisé sous le nom de l'« *Association Européenne du Programme Modélisation de la Complexité* » (AEMCX), programme qui publie *La Lettre MCX - Chemin Faisant* (19 numéros publiés entre 1988 et 1994) et qui organise divers ateliers et une rencontre biennale témoignant de la faisabilité d'un langage de modélisation permettant l'intelligence partagée des systèmes complexes (AEMCX, c/o GRASCE, CNRS 935, 15-19, allée Claude-Forbin, 13627 Aix-en-Provence, France).

Ce bref panorama de l'institutionnalisation de la recherche et de l'enseignement en systémique est établi par un observateur européen et francophone, plus attentif à la constitution épistémologique de la science des systèmes qu'à son institutionnalisation académique. Le lecteur aura sans doute reconnu ces biais, et il ne leur attachera sans doute pas une très grande importance en se souvenant du caractère très évolutif de la systémique contemporaine. Elle est encore plus un bouillon de culture qu'une culture. L'essentiel n'est-il pas que de ce bouillon émergent des cultures qui contribuent à l'intelligence de l'action humaine sous toutes ses formes ? Les processus d'auto-éco-réorganisation de la Science des Systèmes et du Système des Sciences peuvent contribuer (ou compromettre) de telles émergences culturelles. C'est pour cela qu'il nous faut collectivement être attentifs à leur mutuelle institutionnalisation.

(Mars 1994)

BIBLIOGRAPHIE

et
index des noms d'auteurs

On trouvera après la référence éditoriale, en *italique* et entre crochets, la ou les pages de l'ouvrage où le texte ici référé est cité. Les références non indexées sont donc celles d'ouvrages « repérés » entre la troisième (1990) et la quatrième (1994) réédition de l'ouvrage, renvoyant pour la plupart à des textes publiés entre 1989 et 1994 (et mentionnés sans commentaires dans la Postface pour la quatrième édition rédigée en 1994). Cette « addition » permet d'actualiser à fin 1993 la bibliographie de *La Théorie du Système Général* entendue comme et par une théorie de la modélisation des phénomènes perçus complexes. (On ne sera donc pas surpris du peu de références aux ouvrages qui malgré leur titre privilégient les théories de la modélisation analytique, ou aux essais faisant du « systémisme » une nouvelle idéologie se substituant aux structuralismes et aux structuralo-fonctionnalismes.) Bon nombre des ouvrages mentionnés dans cette bibliographie ont fait l'objet de « Notes de lecture » rédigées par l'auteur et publiées depuis 1982 dans les revues de *AFCET-Interfaces* et *Revue Internationale de Systémique*, et, depuis 1990, dans *La Lettre MCX – Chemin Faisant* éditée par l'AEMCX (c/o GRASCE, CNRS 935 – Université d'Aix-Marseille III, 13627 Aix-en-Provence). Je remercie très particulièrement Mlle Sandrine Raynard, chercheur-doctorant au GRASCE, qui a assuré avec beaucoup d'intelligence la tâche délicate d'une compilation judicieuse de plusieurs bibliographies établies à des époques différentes et explorant des champs disciplinaires délibérément multiples. Il va sans dire que j'assure la responsabilité des erreurs et oublis qui peuvent subsister et que je remercie les lecteurs pensifs qui me feront l'amitié de m'indiquer celles et ceux qu'ils repéreraient.

ACKOFF R. L., A note on systems science, *Interfaces*, 1972, vol. 2, n° 4, p. 40-41 [*57, 98, 102, 135, 243*].

ACKOFF R. L., The systems revolution, *Long range planning*, 1974, p. 2-20 [*28, 36, 37*].

ACKOFF R. L. et EMERY F. E., *On purposeful systems*, Londres, Tavistock Publications, 1972, 288 p. [*184*].

ACKOFF R. L., *Redisigning the future. A system approach to societal problems*, NY, J. Wiley & S., 1974, 260 p.

ACKOFF R. L., *Toward a system of systems concepts*, NY, 1971, Management science, vol. 17, n° II, juillet 1971, p. 661-671 [*196, 226*].

AFCET, *Division automatique et instrumentations, Automatique et instrumentation, à l'aube du dernier quart de siècle*, Paris, AFCET, 1975 (Congrès 1975), 393 p.

AFCET (Association française de cybernétique économique et technique), *Modélisation et maîtrise des systèmes techniques économiques sociaux* (deux tomes), Paris, Ed. Hommes et Techniques, 1977, t. 1 : 598 p. ; t. 2 : 680 p. [*8*].

ALEXANDER Ch., *De la synthèse de la forme*, 1964, trad. franç. 1971, Paris, Dunod, 187 p. [*59, 64, 99, 126, 202, 203*].

AMIOT M., BILLIARD I. et BRAMS L. (éd.), *Système et paradoxe, autour de la pensée d'Yves Barel*, Paris, Ed. du Seuil, 1993, 249 p.

ANCORV B., *Apprendre, se souvenir, décider. Une nouvelle rationalité de l'organisation* (préface de J.-L. LE MOIGNE), Paris, CNRS Éditions, 1992.

ANDERSON W., ARROW K. J., PLINE D., *The Economy as an evoluting complex system* (vol. V of the Santa Fe Institute Studies in the sciences of complexity), NY, Addison-Wesley Pub. Cy., 1988, 317 p.

ANDREEWSKY E. (et coll.), *Systémique et cognition*, Paris, Ed. Dunod, coll. « AFCET-système », 1991, 194 p.

ARCY d', WENWORTH, THOMPSON, *On growth and form* (éd. abrégée par J. T. BONNER), Cambridge, The University Press, 1917-1969, 345 p.

ARDOINO J., BERGER G., *D'une évaluation en miettes à une évaluation en actes*, 1989, Université de Paris VIII, RIRELF, Ed. Andsha, (coll. « Matrice »), 234 p.

ARFISE (éd.), *Recherches scientifiques et praxéologiques dans le champ des pratiques éducatives*, Ed. Université de Provence, 1994, 133 p.

ARISTOTE, 384, 322 av. J.-C. [*32, 40, 46, 57, 58*].

ARNAUD A. et NICOLE P., *La logique ou l'art de penser,* Paris, Ed. Flammarion, 1970, 440 p.

ARNAUD A. J., *Pour une pensée juridique européenne,* Paris, Ed. PUF, 1991, 304 p.

ARROW K. J., *Les limites de l'organisation,* 1974, trad. 1976, Paris, PUF, 110 p. [*34 262, 264*].

ASHBY W. R., *1. Design for a brain, the origin of adaptive behaviour,* Londres, Chapman & Hall Ltd, 1ère éd. 1952, révisée en 1960, 286 p. [*95, 121, 131, 132, 171, 203, 206, 215*].

ASHBY W. R., *2. An introduction to cybernetics,* 1ère éd. 1956, chez le même éditeur, 295 p. [*77, 246, 247*].

ASHBY R., *Mecanisms of intelligence (Ross Ashby's writing on cybernetics,* Edited by R. CONANT), Seaside, California, Intersystems Publications, 1981, 442 p.

ATLAN H., Du bruit comme principe d'auto-organisation, in *Communications,* n° 18 (Cf. CEC-MAS), 1971, p. 21, 34 [*226, 282*].

ATLAN H., *L'organisation biologique et la théorie de l'information,* Paris, Ed. Herman, 1972, 300 p. [*72, 73, 261*].

ATLAN H., *Entre le cristal et la fumée. Essai sur l'organisation du vivant,* Paris, Ed. du Seuil, 1979, 286 p. [*8, 36,187,188, 233, 234*].

ATLAN H., *Tout, non, peut-être. Éducation et vérité,* Paris, Ed. du Seuil, 1991, 341 p.

ATTALI J., *La parole et l'outil,* Paris, PUF, 1975 (coll. « Économie en liberté »), 243 p. [*40*].

ATTALI J., *La parole et l'outil,* Paris, PUF, 1975, 243 p. [*253*].

ATTALI J., *Les trois mondes. Pour une théorie de l'après-crise,* Paris, Fayard, 1981, 335 p. [*254*].

AUMALE G. d', *La programmation des décisions,* Paris, PUF, 1968 (coll. « Sup »), 172 p. [*185*].

AXELOS K., *Héraclite et la philosophie,* Paris, Ed. de Minuit, 1962 [*89, 135*].

BACHELARD G., *Le nouvel esprit scientifique,* 1934, Paris, PUF, 13e éd. 1975, 183 p. [*29, 49, 50*].

BALLE C. et PEAUCELLE J.-L., *Le pouvoir informatique dans l'entreprise* (préface et postface de M. CROZIER), Paris, Les Editions d'Organisation, 1972, 166 p. [*37, 209*].

BAREL Y., (DATAR), *Prospective et analyse de système,* Paris, La Documentation française, 1971 (coll. « Travaux et Recherches de prospectives »), 173 p. [*258*].

BAREL Y., *La reproduction sociale, systèmes vivants, invariance et changements,* Paris, Ed. Anthropos, 1973, 558 p. [*51, 118, 121, 238, 259*].

BAREL Y., *Le paradoxe et le système,* Presses Universitaires de Grenoble, 1979, 276 p. [*8, 19, 187*]. Nouvelle édition complétée en 1989.

BAREL Y., *La marginalité sociale*, Paris, PUF, 1982, 250 p. [*233, 266*].

BARTHELEMY M., *La doctrine de Descartes, introduction au discours de la méthode*, Paris, Ed. de Cluny, 1943 [*48*].

BARTLETT S. J. et SUBER P. (éd.), *Self-reference. Reflection on reflexivity,* Dordrecht, M. Nijhoff Pub., 1987.

BARTOLI H., *L'économie multidimensionnelle,* Paris, Ed. Economica, 1991, 527 p.

BAUER R. (éd.), *Social indicators,* Cambridge, Mass., The MIT Press, 1966, 357 p. [*119*].

BEAUDOT A., *Sociologie de l'École,* Pour une analyse des établissements scolaires, Paris, Dunod, 1981, 165 p.

BEER S., *Decision and control The meaning of operational research and management cybernetics,* Londres, John Wiley & Sons Ltd, 1966, 556 p.

BEISHON J. et PETTERS G., *Systems behavior,* Londres, Harper & Row, The Open University Press, 1972, 320 p. [*99*].

BERGOUGNOUX D., LE MOIGNE J.-L., PROULX S. (éd.), *Arguments pour une méthode. Autour d'Edgar Morin* (Colloque de Cerisy), Paris, Ed. du Seuil, 1990, 271 p.

BERGSON H., *L'évolution créatrice,* 1907, nombreuses rééditions, p. ex. : Paris, Rombaldi (coll. « Prix Nobel »), 345 p. [*29, 220, 261, 262*].

BERNARD C., *Introduction à l'étude de la médecine expérimentale,* 1865, nombreuses rééditions, p. ex. : 1943, Paris, Librairie Joseph Gibert (coll. « Chefs-d'oeuvre philosophiques »), 308 p. [*75*].

BERNARD-WEIL E., *L'arc et la corde,* Paris, Maloine, 1975 (coll. « Recherches interdisciplinaires »), 158 p.

BERNIER R. et PIRLOT P., *Organe et fonction,* Paris-Québec, Maloine-Doin-Edisem, 1977, 162 p.

BERRIEN F. K., *General and social systems,* New Brunswick, NJ, Rutgers University Press, 1968, 231 p. [*36, 47, 59, 68, 95,169, 242, 255*].

BERTALANFFY L. von, *Robots, men and minds : Psychology in the modem world,* NY, George Braziller Publ., 1967, 150 p. [*127, 128, 200, 201, 229*].

BERTALANFFY L. von, *Les problèmes de la vie (Essai sur la pensée biologigue moderne)*, 1948, trad. franç. 1961, Paris, Gallimard (coll. « Aux frontières de la science »), 286 p.

BERTALANFFY L. von, *General system theory, foundation, development, applications*, New York, G. Braziller, 1968, 289 p. ; trad. franç. : *Théorie générale des systèmes*, Paris, Dunod, 1973, 296 p. [*36, 37, 40, 49, 52, 59, 61, 95, 149, 200, 253*].

BETZ F. et MITROFF L, Representational systems theory, 1974, in *Management science*, vol. 20, n° 9, mai 1974, p. 1242-1252 [*37, 59, 92*].

BLAUBERG L, SADOVSKY V., YUDIN E., *System Theory. Philosophical and methodological problems*, Moscou, Progress Publisher, 1977 (traduit du russe, importante bibliographie), 318 p. [*9*].

BOCCARA N., *Les principes de la thermodynamique classique*, Paris, PUF, 1968 (coll. « Sup »), 137 p. [*158*].

BOCCHI G., CERUTI M., *Disordine e Costruzione, Un' interpretazione epislemologica dell' opera di Jean Piaget*, Milan, Feltrinelli Editore, 1981, 350 p.

BOCCHI G., CERUTI M. (éd.), *La sfida delta complessità*, Milan, Ed. Feltrinelli, 1985, 485 p.

BOCNANROV A., *Essays in Tektology*, Intersystems Publications Seaside, Ca., États-Unis, 1980 (English translation by G. GORELIX), 265 p. [*10, 186*].

BOLTZMAN, 1844-1906 [*48, 49, 222, 231*].

BOUDAREL R., DELMAS J. et GUICHET P., *Commande optimale des processus*, t. I : *Concepts fondamentaux de l'automatique*, Paris, Dunod, 1967, 307 p. [*90, 160, 162*].

BOUDON P., *Sur l'espace architectural. Essai d'épistémologie de l'architecture*, Paris, Dunod, 1971 (coll. « Aspects de l'urbanisme »), 138 p. [20, 58].

BOUDON P. (éd.), *De l'architecture à l'épistémologie ; la question de l'échelle*, Ed. PUF, Nouvelle Encyclopédie Diderot, 1991, 364 p.

BOUDON P., *Introduction à l'architecturologie*, Paris, Ed. Dunod (coll. « Sciences de la conception »), 1992, 258 p.

BOUDON R., *A quoi sert la notion de structure ? (essai sur la signification de la notion de structure dans les sciences humaines)*, Paris, Gallimard (NRF), 1968 (coll. « Les Essais »), 244 p. [*37*].

BOUGNOUX D., *La communication par la bande. Introduction aux sciences de l'information et de la communication*, Paris, Ed. La Découverte, 1991.

BOUGNOUX D., *Science de l'information et de la communication. Textes essentiels*, Paris, Ed. Larousse, 1993, 809 p.

BOULDING K. E., *The image*, Ann Arbor, The University of Michigan Press, 1956, 175 p.

BOULDING K. E., *General systems theory, the skeleton of science*, 1956, *in* P. P. SCHODERBEK (1967), p. 7, 15, voir aussi : *Management science*, avril 1956 [*127, 128, 260*].

BOULDING K. E., *Beyond economics, essays on society, religion and ethics*, Ann Arbor, The University of Michigan Press, 1968, 302 p.

BOULDING K. E., *Evolutionary economics*, 1981, Beverley Hill, Ca., Sage Publications Inc., 200 p. [*87, 148*].

BOULIGAND Y., *La morphogenèse*, Paris, Maloine, 1980 (coll. « Recherches interdisciplinaires »), 198 p.

BOURCIER D., MACKAY P., *Lire le droit ; langue, texte, cognition*, Paris, Ed. LGDJ, 1992, 486 p.

BOURGINE P., WALLISER B., *Economics and cognitive science,* Oxford, Ed. Pergamon Press, 1992, 229 p.

BRENDER A., *Socialisme et cybernétique,* Paris, Ed. Calmann-Lévy, 1977, 220 p.

BRILLOUIN L., *Scientific uncertainty and information,* NY, Academic Press, 1964, 152 p. [*132, 224, 227*].

BRILLOUIN L., *Science and information theory,* 1956-1962, 4e éd. 1971, New York, Academic Press Inc. Publishers, 351 p.

BROGLIE L. de, 1892-1987 [*50*].

BROSSIER J., VISSAC B., LE MOIGNE J.-L. (éd.), *Modélisation systémique et système agraire. Décision et organisation,* Versailles, Ed. INRA-Publication, 1990, 366 p.

BRUTER C. P., *Sur la nature de mathématiques,* Paris, Gauthier-Villars, 1973 (coll. « Discours de la méthode »), 132 p. [*77, 97, 195, 255, 259, 261, 262*].

BRUTER C. P., *Topologie et perception,* t. 1 : *Bases philosophiques et mathématiques,* Paris, Doin & Maloine, 1974, 265 p. [*93, 97, 259, 261*].

BRUTER C. P., *Topologie et perception,* t. 2 : *Aspects neurophysiologiques,* Paris, Doin & Maloine, 1976 (coll. « Recherches interdisciplinaires »), 271 p. [*64, 65, 72, 76, 221*].

BRUTER C. P., *Les architectures du feu ; considérations sur les modèles,* avec une préface de P. DELATTRE, Paris, Flammarion, 1982, 234 p.

BRUTER C. P. (éd.), *Modèles et transformations. La biologie théorique et Pierre Delattre,* Paris, Ed. Polytechnica, 1993, 160 p.

BUCKLEY W., *Modern systems research for the behavioral scientist, A sourcebook for the application of general system theory to the study of human behavior,* Chicago, Aldine Publishing Company, 1968, 525 p. [*206*].

CAILLE P., *Familles et thérapeutes, lecture systémique d'une interaction,* Paris, Ed. ESF, 1985 et 1991, 192 p.

CAILLE P., *Un et un font trois. Le couple révélé à lui-même,* Paris, Ed. ESF, 1991, 153 p.

CARNOT S., 1796-1832 [*49, 224*].

CARRILHO M. M., *Rhétorique de la modernité,* Paris, PUF, 1992, 176 p.

CASSIRER E., 1874-1945 [*40*].

CASTI J. L., *Connectivity, complexity and catastrophe in large scale systems,* NY, J. Wiley & Sons, 1979, 203 p. [*234*].

CAZAMIAN, *Traité d'ergonomie,* Marseille, Ed. Octares, 1987, 370 p.

CELLERIER G., PAPERT S. et VOYAT G., *Cybernétique et épistémologie,* Paris, PUF, 1968, 143 p.

CHANDLER A. D., *Strategy and structure,* Cambridge, Mass., The MIT Press, 1962, 463 p. [*175*].

CHAUVIN R., *Les sociétés animales,* Paris, PUF, 1982, 290 p.

CHECKLAND P., *Systems thinking, systems practice,* NY, J. Wiley & Sons, 1981, 330 p.

CHURCHMAN C. W., *Qu'est-ce que l'analyse des systèmes* ; 1968, trad. franç. 1974, Paris, Bordas (coll. « Dunod Entreprise »), 217 p.

CHURCHMAN C. W., *Challenge to reason,* NY, McGraw-Hill Book Cy, 1968, *b*,.223 p. [*81*].

CHURCHMAN C. W., *The design of inquiring systems, basic concepts of systems and organisation,* NY, Basic Book, Inc. Pub., 1971, 288 p. [*37, 40, 59, 69, 83, 209*].

CICCOTI G., CINI M., JONA-LASINIO G., DE MARIA M., *L'araignée et le tisserand,* Paris, Ed. du Seuil, 1976, 200 p.

CITEL (et Université de Nice), *La conception des systèmes télématiques,* 1981, CITEL (BP, 58-06220 Vallauris), 828 p.

CLAUSIUS R., 1822-1888 [*49, 224*].

COLLOQUE DE CERISY, *Les théories de la complexité, autour de l'oeuvre d'Henri Atlan,* Ed. du Seuil, 1991, 457 p.

COLLOQUE DE CERISY (éd.), *Arguments pour une méthode, autour d'Edgar Morin,* Ed. du Seuil, 1990, 270 p.

CONANT R. C. et ASHBY W. R., Every good regulator of a system must be a model of that system, *International journal of systems sciences,* 1970, vol. 1, n° 2, p. 89-97 [*175*].

COOLEY M., *Architect or Bee ? The human technology relationship,* Langley Technical Services (Slough, Angleterre), 1980, 104 p.

COSTA DE BEAUREGARD O., *Le second principe de la science du temps, entropie, information, irréversibilité,* Paris, Ed. du Seuil, 1963, 158 p. [*90*].

COTTA A., Éléments pour une théorie des conflits : la diversité des objectifs dans une organisation, in *IRIA*, 1976, p. 13 à 31.

COUFFIGNAL L., *La cybernétique,* Paris, PUF, 1963-1966 (coll. « Que sais-je ? »), 125 p. [*76*].

CRICK Sir F. [*48*].

CROCE B., *La philosophie comme histoire de la liberté. Contre le positivisme* (textes choisis par S. ROMANO), Paris, Ed. du Seuil, 1983, 288 p. [*9*].

CROZIER M., FRIEDBERG E., *L'acteur et le système,* Paris, Ed. du Seuil, 1977, 437 p. [*8, 17*].

CYERT R. M. et MARCH J. G., *Processus de décision dans l'entreprise,* 1963, trad. franç. 1970, Paris, Dunod [*174*].

CYPRES, École d'art d'Aix-en-Provence (collectif), *Art et cognition. Pratiques artistiques et sciences cognitives,* Ed. Cypres, École d'art d'Aix-en-Provence, 1994, 320 p.

DAGONET F., *Pour une théorie générale des formes,* Paris, Librairie J. Vrin, 1975, 193 p. [*76*].

DARWIN C., 1809-1882 [*230*].

DAVID A., *Matière, machine, personnes,* Paris, Bordas, 1973 (coll. « Philosophie des sciences »), 150 p. [*183*].

DELATTRE P., *Système, structure, fonction, évolution,* Paris, Maloine-Doin Ed., 1971, 185 p. [*9, 12, 35, 52, 82, 152, 156, 160, 165, 168, 172, 208, 220, 221, 226*].

DELATTRE P., Concepts de formalisation et concepts d'exploration, in *Scientia (Rivista di scienza),* Milan, Italie, n° V à VIII, 1974, p. 1-32 [*27, 30, 33, 43, 135*].

DELATTRE P., THELLIER M., *Élaboration et justification des modèles,* t. I, Paris, Maloine SA, 1979, 370 p. *(18, 44*].

DELATTRE P., THELLIER M., *Élaboration et justification des modèles,* t. II, Paris, Maloine sa, 1979, 748 *p.*

DEMAILLY A., *La psychologie sociale ; H. A. Simon et R. Pagès,* Limonest, Ed. L'Interdisciplinaire, 1993, 374 p.

DEMAILLY A., LE MOIGNE J.-L., *Sciences de l'intelligence, sciences de l'artificiel*, avec H. A. Simon, Lyon, PUL, 1986, 770 p.

DESCARTES R., *Discours de la méthode*, 1637, nombreuses rééditions, p. ex. 1943, Paris, Ed. de Cluny, 193 p. [*29, 32, 33, 36, 37, 43, 48, 49, 52, 58, 104, 126*].

DESCLES J.-P., *Langages applicatifs, langues naturelles et cognition*, Paris, Ed. Hermès, 1990, 354 p.

DEUTSCH K. [*206*].

DEWEY J., *Logique, la théorie de l'enquête* (traduit de l'anglais, 1938, et présenté par G. DELEDALLE), Paris, Ed. PUF, 1967, 2e éd., 1993, 693 p.

DOBZANSKY Th., *L'homme en évolution,* 1961, trad. franç. 1966, Paris, Flammarion, 432 p. [*85, 128, 237, 239*].

DODE M., *Le deuxième principe de la thermodynamique,* Paris, Sedes, 1965, 152 p. [*96, 101, 222*].

DRIESCH H., 1867-1941 [*55*].

DUCROCQ A., *Logique générale des systèmes et des effets, introduction à l'intellectique,* Paris, Dunod, 1960, 298 p.

DUMOUCHEL P., DUPUY J.-P., *L'enfer des choses. René Girard et la logique de l'économie,* Paris, Ed. du Seuil, 1979, 265 p.

DUMOUCHEL P., DUPUY J.-P., *L'auto-organisation, de la physique au politique,* Ed. du Seuil, 1983, 560 p. (*Actes du Colloque de Cerisy* (1981) sur ce thème. La publication de ce recueil étant postérieure à la rédaction de la seconde édition (mars 1983), on n'a pu mentionner toutes les références détaillées aux études, sur la science de l'autonomie qui étayent et développent bon nombre des compléments ajoutés aux différents chapitres.)

DUPERRIN J.-C. et GODET M., Prospective des systèmes et construction de scénarios à partir d'une nouvelle méthode d'impacts croisés : SMIC 74, in *Métra,* vol. 13, n° 4, 1974, p. 505-532 [*37, 169*].

DUPUY J.-P., *Ordres et désordres. Enquête sur un nouveau paradigme,* Ed. du Seuil, 1982, 278 p. [*8, 187, 232*].

DUPUY J.-P., *Introduction aux sciences sociales. Logique des phénomènes collectifs,* Parois, Ed. Ellipses, École polytechnique, 1992, 297 p.

DUPUY Y., KALIKA M., MARMUSSE C., TRAMAND J., *Les systèmes de gestion. Introduction au self management,* Paris, Ed. Vuibert-Gestion, 1989, 232 p.

DURAND D., *La systémique,* Paris, PUF, 1979, 124 p. [*149*].

EDDINGTON A., 1882-1944 [*49*].

EMERY F. E., *Systems thinking,* Harmondsworth, Middlesex, England, Penguin Books Ltd, 1969 (coll. « Penguin modern management reading »), 398 p.

ERMINE J.-L., *Génie logiciel et génie cognitif* (2 tomes), Paris, Ed. Lavoisier, 1993, 216 p.

EUGENE J., Les systèmes généraux et leurs enseignements quant aux équilibres économiques, in *Cahiers de l'ISEA. Économies et sociétés,* 1972, série HS, n° 14, p. 1703 à 1752 [*103, 113, 119, 199, 200, 247*].

EUGENE J., *Aspects de la théorie générale des systèmes,* Paris, Maloine, 1981 (coll. « Recherches interdisciplinaires »), 248 p.

FEYERABEND P., *Contre la méthode. Esquisse d'une théorie anarchiste de la connaissance,* Paris, Ed. du Seuil, 1979, 350 p.

FLAMENT C., *Réseaux de communication et structures de groupe,* Parois, Dunod, 1965 (coll. « Monographies »), 196 p.

FLORES C., *La mémoire,* Paris, *PUP,* 1972 (« Que sais-je ? »), 128 p. [*85, 170*].

FOERSTER H. von, *On self-organizing systems and their environments, in* M. C. YOVITS et S. CAMERON, 1960 [*226, 228, 230, 231*].

FOERSTER H. von, *Observing systems* (with an introduction by P. J. VARELA), Seaside, California, Intersystems Publications, 1981, 331 p.

FONTANET J., *Le social et le vivant*, Plon, 1977, 299 p. [*8, 41*].

FORRESTER J. W., *Industrial dynamics,* Cambridge, Mass., The MIT Press, 1961, 464 p. [*98, 120, 173, 218*].

FORTET R. et LE BOULANGER H., *Éléments pour une synthèse sur les systèmes à auto-organisation*, Paris, Metra, 1967, série spéciale, n° 12, 96 p. [*168*].

FOSSAERT R., *La société. Une théorie générale*, Paris, Ed. du Seuil, 1977, 165 p.

FOSSARD A. et GUEGUEN C., *Commande des systèmes multidimensionnels*, Paris, Dunod, 1972, 350 p. [*103, 162, 163*].

FRAYSSE P., Discours inaugural du XXI[e] Congrès de Psychologie, in *Le Monde*, 20 juillet 1976, p. 12 [*36, 40*].

FRIEDMAN Y., *Comment vivre avec les autres sans être chef et sans être esclave*, Paris, Ed. J. J. Pauvert, 1974, 91 p. [*245, 250*].

GALBRAITH J. R., *Organization design, an information processing view*, Cambridge, Mass., MIT, Sloan School of Management, Sloan Working Paper n° 425, 1969, 69, 34 p. [*178, 250, 254*].

GALILEE, 1564-1642 [*46, 52*].

GENELOT D., *Manager dans la complexité, Réflexion à l'usage des dirigeants*, Paris, Ed. INSEP, 1991.

GERARD R. W., *Hierarchy, entitation and levels, in* L. WHITE *et al.,* 1969 [*68, 71, 76, 242, 258*].

GERARDIN L., *La théorie des systèmes*, Paris, DTC, 1975, Thomson CSF, note interne n° 531 / 75, 88 p. [*111, 119*].

GILLE J.-C. et CLIQUE M., *La représentation d'état pour l'étude des systèmes dynamiques* (2 tomes), Paris, Ed. Eyrolle, 1975, 192 p. + 109 p. [*154*].

GLASERFELD von E., *The construction of knowledge. Contribution to conceptual semantics*, Intersystems Publication, 1988, 349 p.

GOLDEN J.-L., PILOTA J. J., *Practical reasoning in human affairs, studies in honor of Chaim Perelman*, Dordrecht, D. Reidel Pub. Cy, 1989.

GRANGER G.-G., *Méthodologie économique*, Paris, PUF, 1955, 422 p. [*77*].

GREEN D., BOSSOMAIER T. (éd.*), Complex systems, from biology to computation*, Amsterdam, tos Press, 1993, 376 p.

GREENE K. B. de, *Socio-technical systems. Factors in analysis, design and management,* Englewood C1ilfs, NJ, Prentice Hall, 1973, 416 p. [*37*].

GRENIEWSKI H., *Cybernétique sans mathématiques*, 1960 (trad. franç. 1965), Paris, Gauthier-Villars, 132 p. [*57, 74, 110, 260*].

GREPPIN H., *Some physiochemical and mathematical tools for understanding of living systems,* Ed. Université de Genève, 1993, 370 p.

GRIZE J.-B., *Logique et langage*, Paris, Ed. Ophrys, 1990.

GROCHLA E. et SZYPERSKI N., *Information systems and organizational structure*, Berlin, W. de Gruyter, 1975, 496 p. [*99*].

GROSS B. M., L'avenir de l'analyse systémique des modèles sociaux, 1966-1967, *in* revue *Analyse et prévision*, Paris, SEDEIS, février 1967, p. 129-140 [*98*, *119*, *207*, *210*].

GROSS B. M., *The managing of organization, the administrative struggle,* vol. 1 et 2, NY, The Free Press of Glencoe, 1964, 971 p. (vol. 1 : 466 p.).

HANSON N.-R., *Patterns of discovery. An inquiry into the conceptual foundation of science,* Londres, UK, Cambridge University Press, 1958, 241 p.

HARLE E. JOUANNEAULT J.-D., *L'entreprise en tant que système,* Lyon, ruc, 1983, 416 p.

HEGEL H., 1770-1831 [*33*].

HEISENBERG W., 1901, 1976 [*50*].

HERACLITE VI-Ve s. av. J.-C. [*57, 96, 97, 135, 265*].

HERDER J. (1 744-1803), HAECKEL E. (1834-1919) [*260*].

HEURGON (éd.), *L'avenir de la recherche opérationnelle, pratiques et controverses,* Ed. Hommes et Techniques, 1979, 252 p. [*45*].

HODGSON G., *Economics and evolution. Bringing life into economics,* Cambridge UK, Ed. Polity Press (Blackwell), 1993, 381 p.

HOFSTADTER D. R., *Gödel, Escher et Bach : an eternel golden braid,* Basic Book Inc. et Penguin Bocks Ltd, 1980, 777 p. [*18, 253, 266*] (traduit en français : Gbilel, Escher et Bach, trois brins d'une guirlande éternelle, Paris, Interédition, 1985).

INHELDER B., *Psychologie et épistémologie. Hommage à_7ean Piaget,* Paris, Dunod, 1966, 421 p. [*213*].

INHELDER B. *et al., Hommage à Jean Piaget,* Neuchâtel, Delachaux & Niestlé, 1977 ; voir notamment l'étude de H. von Foerster, Objects : token for eigenbehavior).

IRIA, *Informatique, automatique et sciences des organisations,* Paris, Rocquencourt IRIA, 1976, 398 p.

IRIA, *Journées informatiques et conception en architecture*, Paris, IRIA, 1971, 279 p.

ISNARD H., RACINE J. B., REYMOND H., *Problématiques de la géographie,* Paris, PUF, 1981, 262 p.

JACOB F., *La logique du vinant,* Paris, Gallimard, 1970 (« NRF »), 354 p. [*56,128,140, 255, 261*].

JACOB J., *Le jeu des possibles. Essai sur la diversité du vinant,* Paris, Librairie Fayard, 1981, 135 p.

JANTSCH *E., De la précision et de la planification à la science des politiques,* 1969, in *OCDE :* La gestion en matière de recherche et développement, Paris, OCDE, 1972, p. 153-176 [*185*].

JANTSCH E. (éd.), *Prospective apolitique* (titre anglais : *Perspectives of planning*), Paris, OCDE Publications, 1969, 527 p.

JANTSCH E., *Design for evolution,* NY, George Braziller Pub., 1975, 322 p.

JANTSCH E., WADDINGTON C. H., *Evolution and consciousness. Human Systems in transition,* Addison Wesley Publishing Company Reading Mass., 1976, 259 p.

JARCZYK G., *Système et liberté dans la pensée de Hegel*, Paris, Ed. Aubier-Montaigne, 1980, 317 p.

KALINOWSKI G., *Études de logique déontique,* I : 1953-1969, Paris, Librairie générale de Droit et de Jurisprudence, 1971, 267 p. [*18*].

KALINOWSKI G., *La logique des normes,* Paris, PUF, 1972, 218 p.

KANT E., *Critique de la faculté de juger* (1790, trad. franç. sous la direction de F. ALQUIE), Paris, Ed. Gallimard, (coll. « Folio »), 1985, 561 p.

KELVIN Lord W., 1824-1907 [*47*].

KEPLER, 1571-1630 [*36, 46, 97, 129, 144*].

KERVERN G. Y., *La culture réseau-éthique et écologie de l'entreprise,* Ed. ESKA, 1993, 169 p.

KHAHR D., KOROVSKY K. (éd.), *Complex information processing, the impact of H. A. Simon,* Hillsdale, NJ, Lawrence Erlbaum Associates Pub., 1989.

KHOURY G., *La France et l'Orient, naissance du Liban moderne,* Paris, Ed. Armand Colin, 1993, 419 p.

KICKERT W. J. M., *Organisation of decision making. A Systems theoretical approach,* North-Holland Publishing Company, 1980, 277 p.

KLIR G. J., VALACH M., *Cybernetic modeling,* 1965, trad. anglaise 1967, Prague, SNTL, Publishers of technical literature, 437 p. [*77, 106, 110, 112, 117*].

KLIR G. J., *An approach to general systems theory,* NY, Van Nostrand Reinhold Cy, 1969, 323 p. [*59, 79, 93, 95, 103, 157, 164, 169*].

KLIR G., ROGERS G., GESYPS R. G., *Basic and applied general systems research : a bibliography,* NY, SUNY, Binghampton, 1977, 241 p.

KLIR G., *Facets of systems science,* NY, Plenum Press, 1991, 664 p.

KOESTLER A., *Les somnambules, essai sur l'histoire des conceptions de l'univers,* Paris, Calmann-Lévy, 1960 (et Livre de poche), 692 p. [*40*].

KOESTLER A., *Le cheval dans la locomotive : le paradoxe humain,* 1967, trad. franç., 1968, Paris, Calmann-Lévy, 34 [*36, 237, 238*].

KOESTLER A. et SMYTHIES J., *Beyond reductionism, new perspectives in the life sciences,* Londres, Hutchinson, Radius Book, 1969, 438 p. [33, *49, 55, 129*].

KRIPPENDORFF K., *Communication and control in society,* NY, Gordon & Breach Pub., 1979, 529 p.

KUHN T. S., *La structure des révolutions scientifiques,* 1962, 1970, trad. franç. 1972, Paris, Flammarion, 247 p. [*46*].

LACROIX B. et FAVRE P., L'analyse systémique en question, in *Cahiers internationaux de sociologie,* vol. 58, janvier 1975, p. 97-144.

LADRIERE J., Représentation et connaissance, in *Encyclopedia Universalis,* 1968, vol. 14 [*72*].

LANCRY J.-P., *Théorie de l'information et économie,* préface de R. Vallée, Paris, Economica, 1982, 130 p.

LANGE O., *Introduction to economic cybernetics,* 1965, trad. anglaise, 1970, Londres, Pergamon Press, 183 p. [*95, 103, 112, 119, 197, 198, 200, 242).*

LANGTON C. G. (éd.), *Artificial life,* Addison Westley Pub. Cy (Santa Fe Institute Studies), 1990, 655 p.

LANZARA G. F., PARDI F., *L'interpretazione della complessità, Metodo sistemico e scienze sociali,* Naples, Guida Editori, 1980, 224 p.

LAO-TSEU, VI au Ve s. av. J.-C. [*32*].

LAPIERRE J.-W., *L'analyse de système. L'application aux sciences sociales,* Paris, Ed. Syros/Alternatives, 1992, 229 p.

LARGEAULT J., *Hasards, probabilités, inductions,* Publications de l'Université de Toulouse-Le Mirail, Série A, t. 42, 1979, 202 p.

LARGEAULT J., *Énigmes et controverses,* Paris, Aubier-Montaigne, 1980, 192 p.

LARGEAULT J., *Quine, questions de mots, questions de faits,* Toulouse, Ed. Privat, 1981, 186 p.

LAWRENCE P. R. et LORSCH J. R., *Organization and environment,* Homewood, Illinois, R. D. Irwin Inc., 1967, 279 p. [*238, 240, 250, 252*].

LAWRENCE P. R. et LORSCH J. R., *Adapter les structures de l'entreprise : intégration et différenciation,* Paris, Ed. de l'Organisation, 1973, 279 p.

LESLOTVN J.-M., *Logique et méthode chez Aristote, Étude sur la recherche des principes dans la physique aristotélicienne,* Paris, Ed. Vrin, 1939, 1973.

LECOURT D., *L'ordre et les jeux. Le positivisme logique en question,* Paris, Ed. Grasset, 1981, 348 p.

LECOURT D., *Contre la peur. De la science à l'éthique, une aventure infinie,* Paris, Ed. Hachette, 1990, 157 p.

LEEUVE R B. P. et PADIOLEAU J. G. (éd.), Analyses de systèmes en sciences sociales, *Revue française de sociologie,* Paris, CNRS (numéro spécial 1970-1971), 1972, 233 p.

LEFEBVRE H., *Le manifeste différentialiste,* Paris, Gallimard, 1970 (coll. « Idées »), 186 p. [*118, 238, 258*].

LE GALLOU F., BOUCHON-MEUNIER B. (éd.), *Systémique, théorie et application,* Paris, Ed. Lavoisier, 1992, 341 p.

LEIBNIZ, 1646-1716 [*33, 104*].

LE MOIGNE J.-L., *Les systèmes d'information dans les organisations,* Paris, rue, 1973 (coll. « S.-D. u), 235 p. [99, 251].

LE MOIGNE J.-L., *Les systèmes de décision dans les organisations,* Paris, PUF, 1974 (coll. « S.-D. »), 244 p. [250].

LE MOIGNE J.-L., CARRE D., *Auto-organisation de l'entreprise. 50 propositions pour l'autogestion* (préface de Michel ROCARD), Paris, Les Editions d'Organisation, 1977, 236 p.

LE MOIGNE J.-L., *Analyse de système : Bibliographie et commentaires* 1978, Université d'Aix-Marseille III, Faculté d'Économie appliquée, GRASCE (URA, CNRS 640), 3, av. Robert-Schuman, 13621 Aix-en-Provence, 1979, 418 p.

LE MOIGNE J.-L., PASCOT D. (éd.), *Les processus collectifs de mémorisation. Mémoire et organisation,* Aix-en-Provence, Librairie de l'Université, 1980, 249 p.

LE MOIGNE J.-L., VALLEE R. (éd.), *Les renouvellements contemporains de la théorie de l'information,* Paris, AFCET, 1982, 131 p.

LE MOIGNE J.-L. (éd.), *Intelligence des mécanismes et mécanismes de l'intelligence,* Paris, Ed. Fayard-Encyclopédie Diderot, 1987, 367 p.

LE MOIGNE J.-L., Les nouvelles sciences sont bien des sciences, in *Revue internationale de systémique,* vol. I, n° 4, 1987, p. 295-318.

LE MOIGNE J.-L., La science des systèmes, article « Système » de *l'Encyclopédie Universalis,* édition de 1989.

LE MOIGNE J.-L., *La modélisation des systèmes complexes,* Ed. Dunod (coll. « AFCET-Système »), 1990, 178 p.

LE MOIGNE J.-L., ORILLARD M. (éd.), Systémique et complexité, numéro spécial, *Revue internationale de systémique,* vol. 4, n° 2, 1990, 189 p.

LE MOIGNE J.-L., *Le constructivisme,* t. 1 : *Les fondements,* t. 2 : *Les épistémologies,* Paris, Ed. ESF (Communication et complexité), 1994 et 1995.

LE MOIGNE J.-L., *Les épistémologies constructivistes,* Paris, Ed. PUF, (coll. « Que sais-je ? »), 1995.

LERBET G., *Approche systémique et production de savoir,* Ed. Universitaires, 1984, 273 p.

LERBET G., *Système, personne et pédagogie. Une nouvelle voie pour l'éducation* (2e éd. argumentée), Paris, ESF Editeur, 1993, 156 p.

LESOURNE J., *Le calcul économique*, Paris, Dunod, 1975, 463 p. [*134*].

LESOURNE J., *Les systèmes du destin,* Dalloz Economie, 1976, 449 p. [*8*].

LESOURNE J. (éd.), *La notion de système dans les sciences contemporaines,* t. I : *Méthodologies,* Aix-en-Provence, Librairie de l'Université, 1982, 533 p. [*67*].

LESOURNE J. (éd.), *La notion de système dans les sciences contemporaines,* t. II : *Épistémologie,* Aix-en-Provence, Librairie de l'Université, 1982, 317 p.

LESOURNE J., *Éducation et société, les défis de l'an 2000,* Paris, Ed. La Découverte-Le Monde, 1988.

LESOURNE J., *Économie de l'ordre et du désordre*, Paris, Ed. Economica, 1991, 213 p.

LICHNEROWICZ, *in* PIAGET, 1967 [*52, 77, 78*].

LICHNEROWICZ, *in* IRIA, 1971.

LICHNEROWICZ A., PERROUX F., GADOFFRE G., *Structure et dynamique des systèmes*, Paris, Maloine-Doin, 1976 (coll. « Recherches interdisciplinaires »), 190 p. [*123*].

LICHNEROWICZ A., PERROUX F., GADOFFRE G., *L'idée de régulation dans les sciences,* Paris, Maloine-Doin, 1977 (coll. « Recherches interdisciplinaires »), 258 p.

LICHNEROWICZ A., PERROUX F., GADOFFRE G., *Analogie et connaissance,* t. I : *Aspects historiques*, Paris, Maloine, 1980, 213 p. (214).

LICHNEROWICZ A., PERROUX F., GADOFFRE G., *Analogie et connaissance,* t. II : *De la poésie à la science*, Paris, Maloine, 1981, 270 p.

LITTERER J. A., *Organisations*, vol. I : *Structure and behaviour*, vol. II : *Systems, control and adaptation*, 1963, rééditions 1969, NY, J. Wiley & Sons, vol. II, 417 p. [*207*].

LOFGREN, *in* KLIR, 1968 [*106*, *117*].

Lussato B., *Introduction critique aux théories des organisations,* Paris, Dunod, 1972.

LWOFF A., *L'ordre biologique,* 1962, trad. franç., 1969-1970, Verviers (Belgique), Ed. Gérard et Cie (coll. « Marabout »), 185 p. [*132*].

MACKAY D. M., *Information, mechanism and meaning,* Cambridge, Mass., The MIT Press, 1969, 196 p. [*134*].

MALHERBE J.-F., *Épistémologies anglo-saxonnes*, Paris, PUF, 1981, 206 p.

MALRAUX A., 1901-1976 [*31*].

MARCH G. et SIMON H. A., *Organizations,* NY, John Wiley & Sons Inc., 1958 ; trad. franç. : *Les organisations,* avec une préface de M. CROZIER, Paris, Dunod, 1964, 1990, 244 p. [*83,175, 202, 203*].

MARCH J. G., *Décisions et organisations,* Éditions d'Organisation (classique EO, traduit de l'anglais, 1987), 1991, 275 p.

MARIN B., Aperçus sur la complexité, *in Électricité, électroniques et systèmes*, ns, n° 1, 185, mars 1976, p. 23, 25 [*258*, *259*].

MARMUSSE C., *Politique générale, langage, intelligence, modèles et choix stratégiques*, Paris, Ed. Economica, 1992.

MARSCHAK J. et RADNER R., *Economic theory of teams*, New Haven, Yale University Press, 1972, 345 p. [*144*].

MARTINET A. C. (éd.), *Épistémologies et sciences de gestion*, Paris, Ed. Economica, 1990.

MARTZLOFF Ch., *Découvrir les systèmes*, Paris, Les Éditions d'Organisation, 1975, 252 p. [*129*].

MASON R. et MITROFF L., A program for research in MIS, in *Management science*, vol. 19, n° 5, janvier 1973 [*83*].

MATURANA H. R., VARELA F. J., *Autopoiesis and cognition. The realization of the living*, Dordrecht, Hollande, D. Reidel Pub. Cy, 1980, 142 p. [*58, 187*].

MAYER R. *et al., φ + x. La rencontre de l'ingénieur et du philosophe,* Paris, Les Editions d'Organisation, 1980, 258 p.

MCCULLOCH W. S., *Embodiments of mind,* Cambridge, Mass., The MIT Press, 1965, 1988, 402 p.

MELESE J., *L'analyse modulaire des systèmes de gestion, A.M.S,* Paris, Ed. Hommes et Techniques, 1972, 233 p. [*84, 95, 146, 160, 174, 179, 183, 185, 202, 203, 242, 246, 248*].

MELESE J., *Approches systémiques des organisations. Vers l'entreprise à complexité humaine,* Paris, Ed. Hommes et Techniques, 1979, 158 p.

MESAROVIC M. D. (éd.), *Systems theory and biology,* NY, Springer-Verlag, 1968, 403 p. [*40, 59, 81, 116, 128*].

MESAROVIC M. D. et TAKAHARA Y., *General system theory : mathematical foundations,* NY, Academic Press, 1975, 268 p. [*134, 136, 143, 144*].

MESAROVIC M. D., MAKRO D. et TAKAHARA Y., *Theory of hierarchical, multileael systems,* NY, Academic Press, 1970, 289 p. [*161, 175, 178, 246, 251*].

MESAROVIC M. D. et TAKAHARA Y., *General systems theory : mathematical foundalions,* NY, Academic Press, 1975, 268 p.

METAXAS A. J., *Cours de science politique,* année 1974-1975, Faculté de Droit et de Science politique d'Aix-Marseille (service de polycopie de la faculté) [*265*].

METAXAS A. J., *Systémismes et politique,* Paris, Ed. Anthropos, 1979, 248 p.

MIERMONT J. (éd.), *Dictionnaire des thérapies familiales, théories et pratiques,* Paris, Ed. Payot, 1987, 638 p.

MIERMONT J., *Écologie des liens. Essai,* Paris, Ed. ESF (coll. « Communication et Complexité »), 1993, 317 p.

MIERMONT J., NEUBERGER R. (éd.), *Sciences dures, sciences humaines,* Paris, piste n° 3, 1992, 100 p.

MILLER J. A., *Living systems,* 1965, *Basic concepts,* 1972, The organizations, in *Behavioral science,* 1965, vol. 10, n° 3 et 4, juill.-oct. 1965, p. 103 à 411 et 1972 : vol. 17, n° 1, janvier 1972, p. 1 à 182 [*55, 90, 92, 98,105,173*].

MILSUM J. H., *Technosphere, biosphere and sociosphere, an approach to their systems modeling and optimisations,* 1967, *in* J. BEISHON *et al.,* 1972 [*99*].

MINTZBERG H., *Structure et dynamique des organisations,* Paris, Les Éditions d'Organisations, Montréal, Les Éditions Agence d'Arc Inc., 1982, 434 p.

MONOD J., *Le hasard et la nécessité, essai sur la philosophie naturelle de la biologie moderne,* Paris, Ed. du Seuil, 1970, 197 p. [*32, 34, 37, 52, 56, 59, 132, 136, 261*].

MONOD-HERZEN G., *L'analyse dimensionnelle et l'épistémologie,* Paris, Maloine & Doin, 1976 (coll. « Recherches interdisciplinaires »), 129 p.

MORIN E. et PIATELLI-PALMARINI M., *L'unité de l'homme, invariants biologiques et universaux culturels* (Colloque 1972 du Centre Royaumont pour une science de l'homme), Paris, Ed. du Seuil, 1974, 830 p. [*49, 59, 97, 128, 261*].

MORIN E., *La méthode,* t. 1 : *La nature de la nature,* Paris, Ed. du Seuil, 1977, 399 p. [*8,15,17,25*].

MORIN E., *La méthode,* t. 2 : *La vie de la vie,* Paris, Ed. du Seuil, 1980, 472 p. [*44, 67, 87,148*].

MORIN E., *Science avec conscience,* Ed. Fayard, 1982, 328 p. [*186, 233, 253, 266*].

MORIN E., *La méthode,* t. 3 : *La connaissance de la connaissance,* Paris, Ed. du Seuil, 1986, 245 p.

MORIN E., *Science avec conscience*, nouvelle édition complétée, Ed. du Seuil (coll. « Point »), 1990, 318 p.

MORIN E., *Introduction à la pensée complexe*, Paris, ESF Editeur (coll. « Communication et Complexité »), 1990, 158 p.

MORIN E., *La méthode*, t. 4 : *Les idées, leur habitat, leur vie, leur murs, leur organisation,* Paris, Ed. du Seuil, 1991, 263 p.

MORIN E., BOCCHI G., CERUTI M., *Un nouveau commencement*, Paris, Ed. du Seuil, 1991, 219 p.

MORIN E., KERN A. B., *Terre-Patrie*, Ed. du Seuil, 1993, 218 p.

MORIN E., *Sociologie*, édition revue et augmentée, Ed. du Seuil (coll. « Points-Essais »), 1994, 465 p.

MOSCOVICHI S., *Essai sur l'histoire humaine de la nature,* Paris, Flammarion, 1977 (coll. « Champ »), 569 p.

MCPHERSON P. K., A perspective on systems science and systems philosophy, in *Futures*, juin 1974, p. 219, 239 [*57, 173, 207*].

MUCCHIELI R., *Communication et réseaux de communication,* Paris, Librairies techniques, EME et ESP, 1971, 160 p.

MUGUR-SCHACHTER M., *Mécanique quantique, propension popperienne, formes relativisées*, Université de Reims, 1989, 151 p.

MUNIER B., *Jeux et marchés*, Paris, PUF, 1973 (coll. « S.-D. »), 172 p. [*179*].

MUNIER B. (éd.), *Decision, risk and rationality*, Dordrecht, D. Reidel Pub. Cy, 1988, 707 p.

NADEAU R., LANDRY M., *L'aide à la décision, nature, instruments et perspectives d'avenir*, Québec, Les Presses de l'Université Laval, 1986, 251 p.

NAVILLE P., *Sociologie et logique*, Paris, PUF, 1982, 280 p.

NEWTON I., 1642-1727 [*46, 97*].

NICOLIS G., PRIGOGINE L, *Self-organzation in non-equilibrium systems. From dissipative structures to order through fluctuations,* NY, J. Wiley & Sons, 1977, 491 p.

NIEOMS G., PRIGOGINE L, *A la rencontre du complexe*, traduit de l'anglais (1989) sous la direction de J. CHANU, Paris ; PUF, 1992 ; 382 p.

NIKOLAÏEV L., *Principes de la chimie physique des processus biologiques,* 1973, trad. franç., Moscou, Ed. Mir, 204 p. [*260*].

OSTROWSKI J. J., *Alfred Espinas, précurseur de la praxéologie*, Paris, Librairie générale de Droit et de Jurisprudence, 1973, 394 p. [*21*].

OUDOT J., *Les biolimites*, Lyon, PUL, 1981, 180 p.
OUDOT J., MORGON A., REVILLARD J.-P., *Dix visions sur la communication humaine*, Lyon, PUL, 1981, 309 p.
OUDOT J., MORGON A., REVILLARD J.-P., *L'erreur*, Lyon, PUL, 1982, 254 p.
OZBEKHAN H., *Planning and human action*, *in* P. A. WEISS, 1971 [*93*, *231*].

PAPERT S., *Jaillissement de l'esprit*, Paris, Flammarion, 1981, 298 p. [*25*].
PASK G., *The natural history of networks*, *in* M. C. YOVITS et S. CAMERON, 1960 [*82*].
PASSET R., *L'économique et le vivant*, Paris, Payot, 1979, 287 p. [*8*].
PATTEE H. H. (éd.), *Hierarchy theory, the challenge of complex systems*, NY, G. Braziller, 1974, 156 p. [*77*, *243*, *261*].
PEARL J., *Heuristique. Stratégies de recherche intelligente pour la résolution de problème par ordinateur* (traduit de l'anglais, 1985), Toulouse, CEPADUES-Editions, 1990.
PEIRCE Ch. *S.*, *Textes fondamentaux de sémiotique* (traduction et notes de B. FOUCHIER-AXELSEN et C. FOZ, textes 1968), Paris, Ed. Méridiens-Klincksieck, 1987, 124 p.
PERROUX F., *Unités actives et mathématiques nouvelles (révision de la théorie de l'équilibre économique général)*, Paris, Bordas, Dunod, 1975, 274 p. [*103*, *182*].
PERROUX F., *Pour une philosophie du nouveau développement*, Paris, Aubier, Les Presses de l'Unesco, 1981, 279 p. [*8*, *36*, *60*, *77*, *79*].
PERROW C., *Complex organizations, a critical essay*, Illinois, Scott, Foresman & Company Glenirev, 2e éd., 1972, 1979, 270 p.
PEYREFITTE A., *Quand la Chine s'éveillera, le monde tremblera*, Paris, Librairie A. Fayard, 1973, 475 p. [32, 36).
PETROVITCH M., *Mécanismes communs aux phénomènes disparates*, Paris, Librairie Félix, 1921, 279 p. [10].
PIAGET J., *Le structuralisme*, Paris, PUF, 1968 (coll. « Que sais-je ? »), 125 p. [*126*, *128*, *183*, *194*, *195*, *204*, *205*, *250*].
PIAGET J. (éd.), *Logique et connaissance scientifique*, 1967, Paris, NRF (Encyclopédie de La Pléiade), 1 345 p. [*51*, *56*, *57*, *64*, *195*].
PIAGET J., *L'équilibration des structures cognitives, problème central du développement*, Paris, PUF, 1975 (« Études d'épistémologie génétique »), 188 p. [*208*, *209*].
PIAGET J., *Biologie et connaissance*, Gallimard, 1967 (coll. « Idées »), 510 p. [*9*, *12*, *18*,*51*].
PIAGET J., *Le comportement, moteur de l'évolution*, Paris, Gallimard, 1976 (coll. « Idées »), 190 p. [*58*, *65*, *86*, *148*, *186*, *217*].
PIAGET J., GARCIA R., Psychogenèse et histoire des sciences, Paris, Flammarion, 1983, 310 p.
PICHOT A., *Éléments pour une théorie de la biologie*, Paris, Maloine, 1980 (coll. « Recherches interdisciplinaires »), 240 p.
PITRAT J., *Métaconnaissance, futur de l'intelligence artificielle*, Paris, Ed. Hermès, 1990, 401 p.
PIZZORNO A., L'incomplétude des systèmes, in *Connexion*, Paris, ARIP, vol. n°° 9 et 10, juin et septembre 1974, vol. 9, p. 33 à 64, vol. 10, p. 5 à 26 [*54*, *118*].
PLATON, 428-347 av. J.-C. [*46 ; 65*, *126*].
POLYKAROV, cité par BAREL, 1970 [*51*].

POPPER K. R., *La connaissance objective*, Paris, Ed. Complexe (traduction partielle de *Objective knowledge*), 1972/ 1978, 174 p.

POPPER K. R., *La société ouverte et ses ennemis*, t. I : *L'ascendant de Platon*, Paris, Ed. du Seuil, 1979, 257 p.

POPPER K. R., *La société ouverte et ses ennemis*, t. II : *Hegel et Marx*, Paris, Ed. du Seuil, 1979, 254 p.

POPPER K. R., *La quête inachevée*, Paris, Ed. Calmann-Lévy (traduction), 1981, 33 p.

POPPER K. R., *L'univers irrésolu, plaidoyer pour l'indéterminisme*, Paris, Ed. Hermann, 1981 (traduction, 1984), 159 p.

POPPER K. R., *Le réalisme et la science*, Ed. Hermann (traduction), 1990, 427 p.

POSNER M. J., *Foundations of cognitive science*, Cambridge, Mass., A Bradford book, The MIT Press, *1989, 888 p.*

PRIGOGINE L, La thermodynamique de la vie, *La Recherche*, juin 1972, n° 24, vol. 3, p. 547-562 [*221, 229*].

PRIGOGINE L, *Introduction à la thermodynamique des processus irréversibles*, 1962, trad. franç., 1969, Paris, Dunod, 154 p.

PRIGOGINE I. et GLANSDORFF P., *Structure, stabilité et fluctuation*, Paris, Masson & Cie, 1971, 288 p. [*132, 221*].

PRIGOGINE L, STENGERS L, *La nouvelle alliance. Métamorphose de la science*, Paris, Gallimard-NRF, 1979, 305 p. [*6, 65*].

PRIGOGINE L, *Physique, temps et devenir*, Paris, Ed. Masson SA, 1980, 275 p. [*67, 233*].

PROST R., *Conception architecturale. Une investigation méthodologique*, Paris, Ed. L'Harmattan, 1992, 190 p.

QUASTLER H., *The emergence of biological organization*, New Haven, Yale University Press, 1964, 83 p. [*9, 232, 231*]

QUATREMERE DE QUINCY, *De l'imitation (1823)*, Bruxelles, Éditions AAM, 1980, 450 p.

RACINE B. *et al.*, *Problématiques de la géographie*, Paris, Ed. PUF, 1981.

RADCLIFFE-BROWN A. R., *Structure et fonction dans la société primitive*, 1952, trad. franç., 1968, Paris, Les Éditions de Minuit (coll. « Points »), 316 p. [*69, 89, 169*].

REGNIER A., *Les infortunes de la raison*, Paris, Ed. du Seuil, 1966, 142 p. [*30, 31, 32, 33*].

RESCHER N., *Methodological Pragmatism. A system theoretic approach to the theory of knowledge*, Basil Blackwell, NY, University Press, 1977, 315 p. [*18*].

REY Y., PRIEUR B., *Systèmes, éthiques, perspectives en thérapie familiale*, Paris, Ed. ESF, 1991, 225 p.

RIBEILL G., Théorie des catastrophes de Thom : une illustration économique, in *Metra*, janvier 1976, p. 499, 529.

RIBEILL G., Modèles et sciences humaines, *in* revue *Metra*, Paris, juin 1973, vol. XII, n° 2, p. 271, 303 [*255, 260*].

RICHALET J., RAULT A. et POULIQUEN R., *Identification des processus par la méthode du modèle*, NY, Paris, Gordon & Breach, 1971, 361 p. [*73, 161*].

RIGAL J.-L., Faits et données de la civilisation occidentale, in *Études et recherches sur les systèmes d'information et de décision* (J.-L. LE

MOIGNE éd.), Paris, FNEGE, 1973, p. 443, 476 (voir aussi in *Connexion*, avril 1974, Paris, EPI éd.) [*83, 128*].

ROBINSON-VALERY J., *Fonction de l'esprit. 13 savants redécouvrent Paul Valéry,* Paris, Ed. Hermann, 1983, 300 p.

ROCHER G., *Talcott Parsons et la sociologie américaine*, Paris, PUF, 1972 (coll. « Sup »), 238 p. [*89*].

RODIS-LEWIS G., *Descartes et de rationalisme*, Paris, PUF, 1970 (coll. « Que sais-je ? »), 128 p. [*82*].

ROIG C., *Symbole et société, une introduction à da politique des symboles*, d'après l'œuvre de K. BURKE, Berne, Ed. P. Lang, 1977, 169 p.

ROIG C., Analyse de système et administration, dans L. BOULET (éd.), *Science et action administrative,* Paris, Les Éditions d'Organisation, 1990.

ROIG C., Rhétorique et analyse socio-politique, dans G. DUPRAT (éd.), *Connaissance du politique,* Paris, Ed. PUF, 1990, p. 97-133.

ROSEN R., *Theorems on boundaries in hierarchical systems,* 1969, *in* L. WHYTE *et al.*, 1969 [*77*].

ROSEN R., *Dynamical system theory in biology* (vol. 1 : *Stability theory and its applications*), NY, Wiley Interscience, 1970, 302 p.

ROSNAY de, *Le macroscope, vers une vision globale,* Paris, Ed. du Seuil, 1975, 295 p. [*36, 49, 78, 99, 120, 122, 199*].

ROSZAK T., *L'homme/planète. La désintégration créative de la société industrielle,* Paris, Ed. Stock, 1980, 517 p. (titre original anglais : *Person/planet*).

ROY B., *Vers une méthodologie générale d'aide à la décision,* Paris, Metra/SEMA, 1975, rapport n° 87, 46 p. [*75*].

ROY B. (éd.), *La décision, ses disciplines, ses acteurs*, Lyon, PUL, 1903, 193 p.

ROYAUMONT (Cahiers de*), Le concept d'information dans la science contemporaine*, Paris, Gauthier-Villars éd., 1965, 423 p.

RUELLE D., *Hasard et chaos*, Paris, Ed. Odile Jacob, 1991, 248 p.

RUYER R., *La cybernétique et l'origine de l'information,* Paris, Flammarion éd., 1954, 236 p. [*57*].

RUYER R., *Paradoxes de la conscience et limites de l'automatisme*, Paris, Ed. Albin Michel, 1966, 286 p.

RYBAK B., *Vers un nouvel entendement,* Paris, Ed. Denoël/Gonthier, 1973, 228 p. [*265*].

SALOMON M., *L'avenir de la vie* (préface d'E. MORIN), Paris, Ed. Seghers, 1981, 432 p.

SAUSSURE F. de, 1857-1913 [*SI*].

SCHILLER J., *La notion d'organisation dans l'histoire de la biologie,* Paris, Maloine sa, 1978 (coll. « Recherches interdisciplinaires »), 133 p.

SCHRODINGER E., *What is life ? Cambridge,* Cambridge University Press, 1945, [*49, 226*], (trad. franç., 1986, coll. « Points », Ed. du Seuil, 1993, 236 p.).

SCHUMACHER E. F., *Small is beautiful. Une société à la mesure de l'homme,* Paris, Ed. Contre-temps, Le Seuil, 1973/1978, 318 p.

SEGAL L., *Le rêve de la réalité, Heinz Forster et le constructivisme* (traduit de l'anglais et de l'allemand par A. L. HACKER, *1986),* Paris, Ed. du Seuil, 1990, 220 p.

SERRES M., *Le système de Leibniz et ses modèles mathématiques* (2 tomes), Paris, Ed. PUF, 1968, 834 p. [*49*].

SEILER A., *System analysis in organizational behavior*, Homewood, Ill., R. D. Irwin, 1967, 220 p. [*37, 81*].

SFEZ L., *Critique de la décision*, Armand Colin et Fondation nationale des Sciences politiques, 1973, 368 p. [*37, 264*].

SFEZ L., *Critique de la décision*, Presses de la Fondation nationale des Sciences politiques, 3e éd., 1981, 392 p.

SHAKUN M. et LEWIN A., *Situational normativism : A descriptive, normative approach to decision making and policy sciences,* New York University WP, septembre 1975, 16 p. [*184,185*].

SHAKUN M., Management science and management : Implementing management science via situational normativism, in *Management Science,* avril 1972, vol. 18, n° 8 [*264*].

SHANNON C. E. et WEAVER W., *A mathematical theory of communication,* 1949, 11e éd., 1967, Urbana, Illinois, University of Illinois Press, 125 p. [*132, 224, 227, 228, 245*] (trad. franç., Paris, Ed. Retz, 1975).

SIGNORILE P., *Paul Valéry, philosophe de l'art,* Paris, Ed. J. Vrin, 1993, 253 p.

SIMON H. A., On the concept of organizational goal, *Administrative Science Quarterly,* 1964, vol. 9, n° 1, juin 1964, 22 p.

SIMON H. A., *Science des systèmes, sciences de l'artificiel,* nouvelle édition (traduction et postface de J.-L. LE MOIGNE, de la deuxième édition, 1981, de *The sciences of the artificial,* Paris, Ed. Dunod, 1991, 228 p. [*73, 77, 83, 84, 150, 209, 240, 247, 249, 255, 260*].

SIMON H. A., *The new science of management decision*, New York and Evanston, Harper & Row Publishers, 1960, 50 p. [*84, 175*].

SIMON H. A., *Models of discovery*, Dordrecht, Hollande, D. Reidel Pub. Cy, Pallas Paperback, 1977, 456 p. [*8, 21, 58*].

SIMON H. A., *Models of thought,* 1979, New Haven and London, Yale University Press, 1979, 524 p. [*17, 53, 141*].

SIMON H. A., *Le nouveau management* (traduction de la seconde édition de *The new science of management decision),* Paris, Economica, 1980, 159 p.

SIMON H. A., *The sciences of the artificial,* Massachusetts, MIT Press, 2e éd., 19691981, 247 p. (l'édition 1981 comporte trois chapitres de plus que l'édition 1969, traduite en français sous le titre : *La science des systèmes)* [*235, 271*].

SIMON H. A., *Models of bounded rationality,* vol. 1 : *Economic analysis and public policy,* Cambridge, Mass., The MIT Press, 1982, 478 p.

SIMON H. A., *Models of bounded rationality,* vol. 2 : *Behavioral economics and business organization,* Cambridge, Mass., MIT Press, 1982, 478 p.

SIMON H. A., *Reason in human affairs,* Stanford, California, Stanford University Press, 1983, 115 p.

SIMON H. A., LANGLEY P., BRADSHAW G. L., ZYTKOW, *Scientific discovery. Computational explorations of the scientific processes* (P. Langley est mentionné comme premier auteur), Cambridge, Mass., Ed. the MIT Press, 1987, 357 p.

SIMON H. A., *Models of my life,* Basic Book Pub., 1991, 414 p.

SIMON H. A., *Models of thought,* Vol. II, New Haven, NJ, Yale University Press, 1989.

SIMON H. A., with EGIDI M., MARIS R., VIALE R., *Economics, bounded rationality, and the cognitive revolution,* UK, Ed. Edwar Elgar, 1992, 228 p.

SINGER E., *Experience and reaction* (C. W. CHURCHMAN éd.), Philadelphie, University of Pennsylvania Press, 1959 [*37, 102*].

SNOW B. A., *Éducation in the systems sciences. An annotated guide to education and research opportunities in the sciences of complexity,* Published by « The Elmwood Institute », Berkeley, CA 94705, Edited by « Systems Éducation Research », Olympia, WA 98502, first edition, Winter 1990, 104 p.

SOCIETY FOR GENERAL SYSTEMS RESEARCH, *General systems yearbook* (une livraison par an depuis 1956), Washington DC.

SPENCER H.,1820-1903 [*239*].

STAMPER R., *Information in business and administrative systems,* Londres, B. T. Batford, 1973, 362 p. [*255*].

STEIN D. L. (éd.), *Lectures in the sciences of complexity* (Lectures Vol. I), Addison-Wesley Pub. Cy (Santa Fe Institute Studies in the Sciences of Complexity serie), 1989, 862 p.

STEIN W. D., VARELA F. J., *Thinking about biology. An invitation to current theoretical biology* (Lecture Notes, Volume III, Santa Fe Institute), Addison-Wesley, Mass., 1993, 330 p.

STEINBRUNER J. D., *The cybernetic theory of decision, new dimension of political analysis,* NJ, Princeton University Press, 1974, 366 p. [*47*].

SUPPES P., *Logique du probable. Démarche bayésienne et rationalité,* Flammarion, 1981, 136 p.

TABARY J.-C., *Précis de psychologie,* Paris, Maloine SA, 1981, 548 p.

TABATONI P. et JARNIOU P., *Les systèmes de gestion, politiques et structures,* Paris, PUF, 1975 (coll. « S.-D. »), 233 p. [*146, 184, 206, 264, 265*].

TAILLE R. de LA, Les sept catastrophes du monde, in *Science et Vie,* février 1976, p. 30-35 [*260*].

TARDIEU H., NANCI D., PASCOT D., *Conception d'un système d'information,* Paris, Les Editions d'Organisation, 1979, 192 p.

TARDIEU H., ROCHFELD A., COLLETTI R., *La méthode Merise, principes et outils,* Paris, Les Editions d'Organisation, 1983, 318 p.

TARDIEU H., GUTHMANN B., *Le triangle stratégique. Stratégie, structure et technologie de l'information,* Paris, Les Editions d'Organisation, 1991, 304 p.

TEILHARD P. de CHARDIN, 1881-1955 [*59, 64, 75, 100, 128, 239*].

TENIERE-BUCHOT P. F. ET OERLEMANS J. J., *Le modèle popole : une tentative d'analyse du système « eau » dans une agence financière de bassin*, Paris, Analyse et prévision/Futuribles, t. XV, n° 2, février 1973, p. 155-232 (à suivre) [*119*].

TERENCE, *Encyclopédie des ressources humaines*, t. 1 : *De la fonction Personnel à la fonction Ressources humaines* (255 p.), t 2 : *L'homme, Ressource stratégique* (320 p.), Paris, Les Editions d'Organisation, 1987.

TEUBNER G., *Le droit, un système autopoïétique* (traduit de l'allemand), Paris, Ed. PUF, 1993, 296 p.

THOM R., *Stabilité structurelle et morphogenèse (essai d'une théorie générale des modèles),* diffuseur en France : Paris, Ediscience, 1972, Reading, Mass., W. A. Benjamin Inc., 362 p. [*28, 57, 59, 71, 85, 217, 218, 229, 231*].

THOM R., *Modèles mathématiques de la morphogenèse,* Paris, UGE, 1974 (coll. « 10/ 18 »), 320 p. [*51, 61, 69, 97, 104, 171, 172, 181, 204, 249, 255, 259, 260, 263*].

THOM R., La théorie des catastrophes et ses applications, Actes du colloque, École centrale de Paris : *Réflexions sur de nouvelles approches dans l'étude des systèmes,* Paris, Ensta, 1975, p. 9, 21 [*39*].

THOM R., La science malgré tout..., in *Encyclopedia Universalis,* 1968, vol. 17 (L'organum), p. 5 à 10 [*32*].

THOM R., *Apologie du logos,* Paris, Ed. Hachette, 1990, 661 p.

THOMPSON J. D., *Organizations in action social science bases of administrative theory*, New York, McGraw-Hill Book Co., 1967, 192 p. [*99, 119, 176,178, 182, 204*].

TINLAND F. (éd.), *Systèmes naturels, systèmes artificiels,* Seyssel, Ed. Champ-Vallon (coll. « Milieux »), 1991, 251 p.

TITLI A., *Commande hiérarchisée et optimisation des processus complexes,* Paris, Dunod, 1975, 258 p. [*161, 175, 177, 178*].

TONNELAT J., *Thermodynamique et biologie,* t. 1 : *Entropie, désordre et complexité,* Paris, Maloine & Doin, 1977, 237 p.

TOYNBEE A. (1889-1975) [*264*].

TRAPPL R., HORN W., KLIR G. J., *Basic and applied general systems research, a bibliography*, NY, Hemisphere Pub. Corp., 1985.

TREMOLIERES R., MORARD B. et POUJAUD R., *Une approche formelle de la détermination des coûts : da comptabilité des variations,* Université de Droit, d'Economie et des Sciences d'Aix-Marseille (CEROG, note de recherche interne), 1975 [*158*].

TRICOIRE B., MAUGIN M., ROBERT A., *Le travail social à l'épreuve des violences modernes*, Ed. L'Harmattan (coll. « Logiques sociales »), 1993, 253 p.

UNESCO (collectif), *Tendances principales de la recherche dans les sciences sociales et humaines,* Paris, Ed. Mouton-Unesco, 1970, 987 p.

Université de Nice, avec E. Morin, à propos de *La méthode,* Edisud (13090 Aix-en-Provence), 1980, 126 p.

U.N.U.-IDATE (éd.), *Sciences et pratiques de la complexité,* Paris, Ed. La Documentation française, 1986, 436 p.

VALERY P., *Introduction à la méthode de Léonard de Vinci, 1894,* Paris, Ed. Gallimard, 1957 (coll. « Idée »), NRF, 140 p. [*33, 36, 59, 255*].

VALERY P., *Œuvres complètes*, 2 tomes, Paris, Ed. Pléiade, Gallimard, 1970.

VALERY P., *Cahiers,* 2 tomes, Paris, Ed. Pléiade, Gallimard, 1977.

VALERY P., *Cahiers 1894-1914,* édition intégrale annotée sous la direction de N. CELEYRETTE-PIERHI et Y. ROBINSON-VALERY, Paris, Ed. Gallimard, Vol. I, 1987, Vol. II, 1988, Vol. III, 1990, Vol. IV, 1992.

VALLEE R., SCHLEICHER H., *Théorie des systèmes et théorie des jeux,* Économies et Sociétés, ISMEA EM, n° 6, 1980, 356 p.

VAN COURT HARE J., *L'analyse de système, outil de diagnostic*, 1967, trad. franç., 1973, Paris, Dunod, 544 p. [*210, 247*].

VAN CIGCH J. P., *Applied general systems theory,* NY, Harper & Row Pub., 1974, 439 p. [*81*].

VAN CIGCH J. P., *Applied general systems theory,* NY, Ed. Harper & Row, 1974.

VAN CIGCH J. P. (éd.), *Decision making about decision making, meta models and systems*, Cambridge, Mass., Abacus Press, 1987.

VAN CIGCH J. P., *System design modeling and metamodeling,* Sacramento, California State University, Plenum Press, 1992.

VARELA F. J., *Principles of Biological Autonomy,* NY, North Holland Pub., 1979, 306 p.

VARELA F. J. et al., *L'inscription corporelle de l'esprit* (trad. franç.), Ed. du Seuil, 1993, 381 p.

VENDRYES P., *Vers la théorie de l'homme,* Paris, PUF, 1973, 283 p. [*10, 187*].

VENDRYES P., *Déterminisme et autonomie*, Librairie Armand Colin, 1956, 204 p.

VENDRYES P., *L'autonomie du vivant,* Paris, Maloine, 1981 (coll. « Recherches interdisciplinaires »), 152 p.

VENTURI R., *De l'ambiguïté en architecture*, Dunod, 1976 (coll. « Aspect de l'urbanisme », 135 p. (titre anglais : Complexity and contradiction in architecture, 1966) [*21*].

VERIN H., Entrepreneurs, entreprise. Histoire d'une idée, Paris, pue, 1982, 262 p.

VERIN H., *La gloire des ingénieurs. L'intelligence technique du XVIe au XVIIIe siècle,* Paris, Ed. A. Michel, 1993.

VICHIANI G., *Organisation et gestion,* Moscou, Les Editions du Progrès, 1974, 652 p.

VICO G., *Vie de Gianbattista Vico écrite par lui-même* (suivi de *La méthode des études de notre temps,* 1708), traduit de l'italien par A. Potes, Paris, Ed. Grasset, 1981.

VICO G., *Principes d'une science nouvelle relative à la nature commune des nations,* 1744, trad. franç., Paris, Ed. Nagel, 1986, 558 p.

VINCI L. de, 1452-1519, *Les Cahiers* (2 tomes, trad. franç.), Paris, Ed. Gallimard, 1945 (rééd., coll. « Tel », 1990) [*36*].

VOGEL T., *Pour une théorie mécaniste renouvelée,* Paris, Gauthier-Villars, 1973, 141 p. [*41, 47, 64, 136, 242*].

VOGEL T., *Théorie des systèmes évolutifs*, Paris, Gauthier-Villars, 1965, 172 p. [*79, 258, 259*].

WALLISER B., *Systèmes et modèles. Introduction critique à l'analyse de systèmes*, Paris, Ed. du Seuil, 1977, 248 p. [*8*].

WARFIELD J. N., *Societal systems, planning, policy and complexity,* NY, J. Wiley & Sons, 1976, 490 p. [*59*].

WATERMAN T. H., *Systems theory and biology, view of a biologist, in* M. D. Mesarovic (éd.), 1968 [*40*].

WATERMAN T. H., MOROWITZ H. J. (éd.), *Theoretical and mathematical biology,* NY, Blaisdell Pub. Cy, 1964, 420 p.

WATZLAWICK P., WEAKLAND J., FISH R., *Changements, paradoxes et psychothérapie,* Paris, Ed. du Seuil, 1975, 201 p.

WATZLAWICK P., *La réalité de la réalité ; confusion, désinformation, communication,* Paris, Ed. du Seuil, 1976/1978, 239 p.

WATZLAWICK P., *L'invention de la réalité, contribution au constructivisme* (traduit de l'allemand, 1981), Paris, Ed. du Seuil, 1988.

WEINBERG G. M., *An introduction to general systems thinking,* 1975, NY, Wiley Interscience, 279 p. [*59, 81, 138, 155, 244*].

WEISS P. A. (éd.), *Hierarchically organized systems in theory and practice,* NY, Haffner Pub. Cy, 1971 [*35*].

WEISS P. A., *L'archipel scientifique* (trad. franç., 1974), Paris, Maloine, 1974 (coll. « Recherches interdisciplinaires »), 264 p. [*19*].

WHYTE L., WILSON A. G. et WILSON D. (éd.), *Hierarchical structures,* 1969, NY, American Elsevier Pub. Cy, 322 p. [*68, 71, 76, 77*].

WIENER N., *Cybernetics, or control and communication in the animal and in the machine,* 1947, 1e éd., 2e éd. révisée 1961, Cambridge, Mass., The MIT Press, 212 p. [*132, 199*].

WIENER N., *The human use of human being (cybernetic and society),* 1950, 2e éd., 1954, NY, Houghton Mifflin Company & Doubleday Anchor Books.

WIENER N., *Cybernétique et société,* 1950, trad. franç., Paris, Ed. des Deux-Rives, 1952, 295 p.

WILDEN A., *System and structure, essays in communication and exchange,* Londres, Tavistock Publications, 1972, 540 p. [*56, 57, 63,137, 171, 203, 204, 205, 230, 242, 255, 257*].

WILDEN A., L'écriture et le bruit dans la morphogenèse du système ouvert, in *Communication,* n° 18 (Cf. CEC-MAS), 1971, p. 48, 70 [*228, 230*].

WILENSKY R., *Planning and understanding : a commutational approach to human reasoning,* Addison-Wesley Pub. Cy, 1983.

WINDEKNECHT T. G., *General dynamical processes, A mathematical introduction,* NY, Academic Press, 1971, 179 p. [*103, 105, 147, 155, 158, 226*].

WINKIN Y., *La nouvelle communication. Recueil de textes de C. Bateson et de l'école de Palo-Alto,* Paris, Ed. du Seuil, 1981, 380 p.

WINKIN Y. (éd.), *Bateson, premier état d'un héritage,* Paris, Ed. du Seuil, 1988, 349 p.

YOCKEY H. R., PLATZMAN R. L., QUASTLER H. (éd.), *Symposium on information theory in biology,* NY, Pergamon Press, 1958, 168 p. [*234*].

YOVITS M. C. et CAMERON S. (éd.), *Self organizing systems,* NY, Pergamon Press, 1960, 322 p.

ZADEH L. A. et POLAK E. (éd.), *System theory,* NY, McGraw-Hill Book Cy, 1969, 521 p. [*43, 154*].

ZEEMAN E., Catastrophe theory, in *Scientific American,* avril 1974, p. 65, 83 [*255, 263*].

ZELENY M. (éd.), *Autopoiesis. A theory of living organization,* NY, North Holland, 1981, 314 p. [*8*].

ZELENY M. (éd.), *Autopoiesis, dissipative structure and spontaneous social orders,* Boulder, Colorado, Westwiew Press, AAAS Selected Symposium 55, 1980, 148 p.

INDEX

LA THEORIEDU SYSTEME GENERAL
THEORIE DE LA MODELISATION
Publication de l'édition 1994. Nouvelle présentation, 2006
Jean-Louis Le Moigne

PRESENTATION
(Reprise de page IV de couverture de l'édition 1994)

« Les systèmes ne sont pas dans la nature mais dans l'esprit des hommes. » En croyant en 1865 condamner d'une réplique ce qui allait devenir un engouement durable pour la notion du Système, le grand physiologiste Claude Bernard lui donnait au contraire sa chance.

Si le concept de Système est forgé par l'esprit humain, il devient possible de le dessiner de façon qu'il s'avère aussi utile et aussi peu contraignant que possible ; l'homme peut alors, à l'aide de ce concept extraordinairement fécond, se construire des représentations de la complexité dans laquelle il doit vivre et agir sans pouvoir ou devoir la mutiler : modéliser par un système n'est pas appauvrir pour simplifier. Il faut pour cela doter cet objet artificiel qu'est le Système Général (ou le Système en Général) d'un corps de propriétés cohérentes agencées en une théorie ; puis présenter cette construction par son mode d'emploi : une théorie de la modélisation des objets ou des phénomènes complexes (et donc, en particulier, des objets sociaux).

Paradoxalement, une telle théorie n'avait pas encore été formulée dans son architecture équilibrée sur les ruines encore fumantes des théories de l'analyse réductionniste et linéaire qui fondaient nos méthodes de modélisation « pour bien conduire sa raison », depuis trois siècles. On propose ici une telle entreprise, moins ambitieuse qu'il n'y paraît grâce aux travaux et aux expériences qui s'accumulent depuis trente ans de par le monde ; la convergence de tant de disciplines, de recherches théoriques et d'expériences passionnantes pouvait et devait être proposée pour servir l'intelligence des hommes dans l'action.

Tel est le propos de ce livre qui veut ainsi contribuer à l'émergence théorique, pédagogique et pratique de la systémique.

***

Jean-Louis Le Moigne, ingénieur ECP, professeur émérite, Université d'Aix-Marseille, est l'auteur d'une douzaine d'ouvrages sur les sciences des Systèmes et de la Complexité. Il est président de l'Association du Programme européen Modélisation de la Complexité (MCX) et vice-président de l'Association pour la Pensée Complexe. Réseau Intelligence de la Complexité www.mcxapc.org